



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO DEL TFG: Espejo inalámbrico (Wireless Mirror)

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación

AUTOR: José Manuel Segura Calvente

DIRECTOR: José Antonio Lluch

SUPERVISOR: Óscar López Lapeña

DATA: 23 de octubre del 2015

Título: Espejo inalámbrico

Autor: José Manuel Segura Calvente

Director: José Antonio Lluch

Data: 23 de octubre del 2015

Resumen

La competitividad en el mercado automovilístico ha conducido a aumentar las prestaciones de cada uno de los elementos básicos del automóvil. Los espejos retrovisores han pasado de ser elementos inertes que no consumen energía a disponer de actuadores y sensores que necesitan ser alimentados. Las funcionalidades que tienen estos elementos son diversas:

- Cristales anti-deslumbramiento (electrochrome).
- Abatimiento eléctrico (*Power folding*).
- Regulación del cristal eléctrico (*Glass actuator*).
- Calentamiento para evitar la acumulación de hielo o vaho (*Heater*).
- Luz intermitente (*Blinker*).
- Luz de día (DRL).
- Detector de ángulo muerto (BSD).
- Luz de charco (*Puddle Lamp*).

Los espejos retrovisores están expuestos a factores atmosféricos y deben superar pruebas extremas de calidad para salir al mercado. La superación de estas pruebas depende en gran parte de su estanqueidad, la cual se ve reducida por la conexión de cables eléctricos utilizados en la comunicación y alimentación de estos sistemas. Este proyecto plantea substituir estas conexiones eléctricas por sistemas de alimentación y comunicaciones inalámbricas. Se transmite energía desde el bus de alimentación del vehículo hacia el retrovisor mediante inducción magnética siguiendo el estándar internacional Qi (Wireless Power Consortium). Por otra parte, la unidad de control del coche (*Electronic Control Unit*, ECU) utiliza transceptores Zigbee para enviar comandos de control hacia los actuadores.

Actualmente se han adherido un gran número de fabricantes de circuitos integrados al estándar Qi, y existen en el mercado soluciones especialmente diseñadas para su implementación. Se utilizará uno de estos circuitos, concretamente bq500215, para el transmisor de energía y el bq51025 para la recepción de energía. El sistema implementado para la transmisión de energía permite transmitir una potencia máxima de hasta 10 W con una eficiencia que puede llegar a ser del 80%, a través de una barrera de aislamiento de 5 mm.

Este proyecto se ha realizado en la empresa Idneo Technologies S.L, dentro del departamento de Hardware Auto.

Title: Wireless Mirror

Author: José Manuel Segura Calvente

Director: José Antonio Lluch

Date: October 23 rd 2015

Overview

The automotive market is very competitive, for this reason it has to increasing the performance of each of the basic elements of the car. The mirrors has gone from being inert elements that do not consume energy to has dispose of actuators and sensors that need to be fed. The features that have these elements are different:

- Electrochrome glass.
- Power folding.
- Glass regulation (Glass actuator).
- Heating to prevent ice or condensation (Heater).
- Blinker.
- Daylight (DRL).
- Blind Spot Detector (BSD).
- Puddle Lamp.

The mirrors are exposed to atmospheric factors and must pass a extreme quality tests for go out to the market. Overcoming these tests depends of a lot of attributes, one is be watertight, this attribute is reduced by connecting electrical cables. This project proposes to replace these electrical connections for wireless power systems and wireless communications. Power is transmitted by magnetic induction following the international standard Qi (Wireless Power Consortium). Moreover, the drive control unit (Electronic Control Unit, ECU) Zigbee transceivers used to send control commands to the actuators.

Currently, there are a large number of manufacturers of integrated circuits at the Qi standard. We used one of these circuits, specifically bq500215 to the power transmitter and the bq51025 to the power receiver. The system implemented can transmit a maximum power of up to 10 W with an efficiency which can be 80%, through an isolation barrier of 5 mm.

This project was implemented in the company Idneo Techonologies SL, within the Department of Hardware Auto.

Quiero agradecer por su ayuda, soporte y
sobretudo su confianza en mi por asignarme
este proyecto a la empresa Idneo Technologies S.L.
y en especial a todos los compañeros que he
tenido en Hardware Auto, destacando a
José Antonio Lluch, mi tutor, y Manuel Marquez

También agradecer a mi familia que siempre me hayan
apoyado y soportado en los momentos de mas estrés.

Por supuesto agradecer a la UPC la formación que
me ha dado y en especial a Oscar López por toda
la ayuda que me ha prestado.

ÍNDIX

SIGLAS Y ACRÓNIMOS	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. COMPARACIÓN DE ESTÁNDARES	9
1.1. ESTÁNDAR WPC (Qi)	10
1.2. A4WP (Rezence)	12
1.3. Elección del estándar.....	13
CAPÍTULO 2. ESTANDAR WPC (QI).....	16
2.1 Descripción a alto nivel	16
2.1.1 Conversión de potencia.....	16
2.1.2 Control de potencia	17
2.1.3 Codificación de la señal de control.....	18
2.1.4 Comunicación y control	19
2.2 Pérdidas de transmisión-recepción	20
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA.	24
3.1 Especificaciones de diseño.....	24
3.2 Transmisor de potencia	24
3.2.1 Protección frente a sobretensiones y polarización en inversa	26
3.2.2 Regulador Voltaje de entrada.....	27
3.2.3 Sensor corriente en la bobina del primario.....	28
3.2.4 Tanque resonante	29
3.2.5 Puente de transistores.....	29
3.2.6 Circuito demodulador	30
3.2.7 Alimentación del controlador	32
3.2.8 Controlador: Integrado de TEXAS Instruments.....	32
3.3 Receptor de potencia	34
3.3.1 Tanque resonante de RX	35
3.3.2 Condensadores de desacoplo de las Comunicaciones	36
3.3.3 Controlador bq51025.....	36
CAPÍTULO 4. MEDIDAS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA.	38
4.1 Medidas de eficiencias generales del sistema.....	38
4.2 Medidas de eficiencias en funcionalidades reales	39
4.2.1 Glass Actuator	39
4.2.2 Heater	41
4.2.3 Electrochrome.....	42
4.2.4 Power Folding.....	43

CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	47
Reglas seguidas para hacer el Layout	47
Reglas para el Transmisors.....	47
Reglas para el receptor	48

FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 0.1 Arquitectura Wireless Mirror.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 0.2. Soporte físico para el acoplamiento del espejo.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 0.3. Transmisión de potencia con soporte.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 0.4. Enlace Zigbee</i>	<i>6</i>
<i>Figura 0.5. Arquitectura de controlador de actuadores montada por Idneo previamente al proyecto</i>	<i>7</i>
<i>Figura 1.1. Miembros estándar Qi.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 1.2. Miembros estándar A4WP</i>	<i>10</i>
<i>Figura 1.3. Arquitectura del estándar Qi.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.4. Arquitectura del estándar A4WP</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1.1. Descripción alto nivel</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.2. Conversión de potencia.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.3. Control de potencia</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.4. Control de error</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.5. Formato de la trama</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.6. Diagrama comunicación.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.7. Acoplamiento de bobinas</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.8. Factor de acoplamiento en función de la distancia</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.9. Eficacia del blindaje.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.1. Placa de evaluación Toshiba</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.2. Diagrama de bloques del Transmisor.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.3. Protección contra sobretensiones. TVS y Condensadores</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.4. Protección polaridad inversa</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.5. Regulador Buck.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.6. Señal PWM_Rail.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.7. Circuito sensado de corriente.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.8. Tanque resonante con Puente completo de conmutación</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.9. Señales D-PWM A, D-PWM B y</i>	

<i>tensión en medio del tanque resonante.</i>	30
<i>Figura 3.10. Circuito demodulación</i>	31
<i>Figura 3.11. Señal COMM+</i>	31
<i>Figura 3.12. Regulador conmutado para alimentar controlador bq500215.</i> .	32
<i>Figura 3.13. Conexionado Integrado de bq500215</i>	33
<i>Figura 3.14. Esquema simplificado del receptor</i>	34
<i>Figura 3.15. Tensión tanque resonante de Rx</i>	35
<i>Figura 3.16. Modulación resistiva</i>	37
<i>Figura 3.17 Modulación capacitiva</i>	37
<i>Figura 4.1. Setup medida de eficiencia</i>	38
<i>Figura 4.2. Gráfica de eficiencia del sistema</i> <i>en función de la potencia transmitida.</i>	39
<i>Figura 4.3. Medida para calcular la eficiencia del Glass Actuator</i>	40
<i>Figura 4.4. Comportamiento Glass Actuator.</i>	40
<i>Figura 4.5. Medida calcular eficiencia heater</i>	41
<i>Figura 4.6. Comportamiento Heater</i>	42
<i>Figura 4.7. Medida para calcular eficiencia de electrochrome</i>	42
<i>Figura 4.8 Medida para calcular eficiencia Power Folding</i>	43
<i>Figura 4.9. Conmportamiento Power Folding</i>	44
 <i>Tabla 1.1. Características WPC / A4WP</i>	 14
<i>Tabla 1.2. Comparación WPC / A4WP</i>	15

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

LIN: Local Interconnect Network
UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
DRL: Day Running Light
LED: Light Emitting Diode
WPC: Wireless Power Consortium
ECU: Electronic Control Unit
A4WP: Alliance for Wireless Power
PMA: Power Matters Alliance
PTU: Power Transmitter Unit
PRU: Power Receiver Unit
BSD: Blis Spot Detection.
PCB: Printed Circuit Board.
BLE: Bluetooth Low Energy
WPT: Wireless Power Transfer
RX: Receptor
TX: Transmisor
CC: Corriente Continúa
CA: Corriente Alterna
Mosfet: Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor
PWM: Pulse width modulated
AM: Amplitude modulation
FOD: Foreign Object Detection
ESR: Equivalent Serie Resistance
LDO: Low Drop Out
CRC: Cyclic Redudancy Check
GND: Ground
TI: Texas Instruments
ILIM: Intensity Limit
CC/CC: Conmutador de corriente continua, a corriente continua.

INTRODUCCIÓN

La competitividad en el mercado automovilístico ha conducido a aumentar las prestaciones de cada uno de los elementos básicos del automóvil. Los espejos retrovisores han pasado de ser elementos inertes que no consumen energía a disponer de actuadores y sensores que necesitan ser alimentados. Las funcionalidades que tienen estos elementos son diversas:

- Cristales anti-deslumbramiento (*electrochrome*). El vidrio está compuesto de dos lentes que intercalan un gel electrocrómico. Este gel, cuando se alimenta, se oscurece.
- Abatimiento eléctrico (*Power folding*). Consiste de un motor que recoge o abre los retrovisores. Utilizan un control de final de carrera para apagar la alimentación del motor.
- Regulación del cristal eléctrico (*Glass actuator*). Consiste en un motor que mueve en dos ejes el cristal del retrovisor, para el ajuste de su orientación.
- Calentamiento para evitar la acumulación de hielo o vaho (*Heater*). Consiste en una carga resistiva que hace un recorrido a través del interior del cristal. Calienta el cristal para evitar la acumulación de hielo o vaho en el retrovisor.
- Luz intermitente (*Blinker*). Iluminación de señalización para cambios de carril o de dirección.
- Detector de ángulo muerto (BSD). Señaliza mediante un LED la existencia de un objeto en el ángulo muerto de la visión del conductor. Este sistema utiliza un sensor para detectar la presencia del objeto.
- Luz de día (DRL). Se utiliza para aumentar la visibilidad del vehículo durante su funcionamiento.
- Luz de charco (*Puddle Lamp*). Luz generalmente blanca, situada al lado de la puerta, que se activa al abrir el coche. Enfoca al suelo para evitar pisar un charco o cualquier otra cosa justo antes de entrar o salir del vehículo.

Uno de los problemas en los componentes de automoción es la no-estanquidad de las piezas. Dado que el espejo retrovisor está en el exterior del vehículo, es un tema crítico, ya que está expuesto a todo tipo de cambios atmosféricos. Por este motivo, las empresas que fabrican coches, exigen a las empresas que les diseñan sus productos, que realicen una serie de ensayos en los cuales se lleva la pieza al extremo, para comprobar que una vez ese producto esté en el mercado, no surja ningún tipo de error.

El método más económico y usado para superar estos ensayos, es la utilización de fluidos a modo de recubrimiento (conocidos como *coatings*). Esto ayuda a evitar la corrosión, pero dependiendo de la calidad del fluido y del método de aplicación a la pieza, puede no ser efectivo. Además, hay componentes como los LED's, que no pueden recubrirse con este material. Si recubriéramos la óptica del LED con este material, modificaríamos la luminosidad del led y por lo tanto podría hacer que no cumpliera las especificaciones de homologación de luz.

La mejor solución para superar estas pruebas consiste en diseñar un espejo retrovisor estanco. Todos los sistemas electrónicos estarían en una cavidad estanca y por tanto, aislada del exterior. Esto supone un problema en los cables de comunicaciones y alimentación ya que serían necesarios utilizar pasamuros para conservar dicha protección. Otra solución, planteada por este proyecto, consiste en substituir estas conexiones eléctricas por sistemas de alimentación y comunicaciones inalámbricas. La utilización de conexiones inalámbricas permite las siguientes ventajas:

- Encapsulado del sistema totalmente estanco. Esto es muy importante en automoción, dado que la electrónica está en el exterior y sufre todos los cambios climáticos.
- Reducir cables. En automoción hay una gran tendencia a la reducción de cables.
- Reducir el tiempo en la línea de montaje. Al ser una pieza compacta, ya no hay montaje manual (pasar cables, conexionado, etc.).

La Figura 0.1 muestra un diagrama de bloques del sistema planteado. Está formado por dos partes separadas por una barrera aislante; el lado del coche y el lado del espejo:

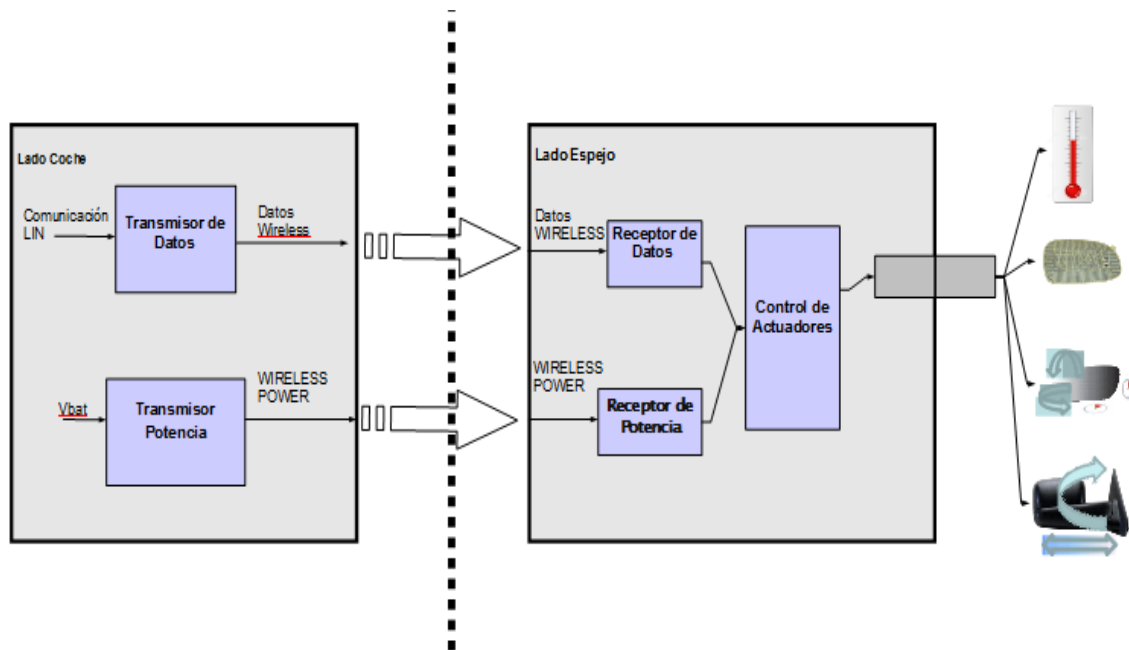


Figura 0.1 Arquitectura Wireless Mirror.

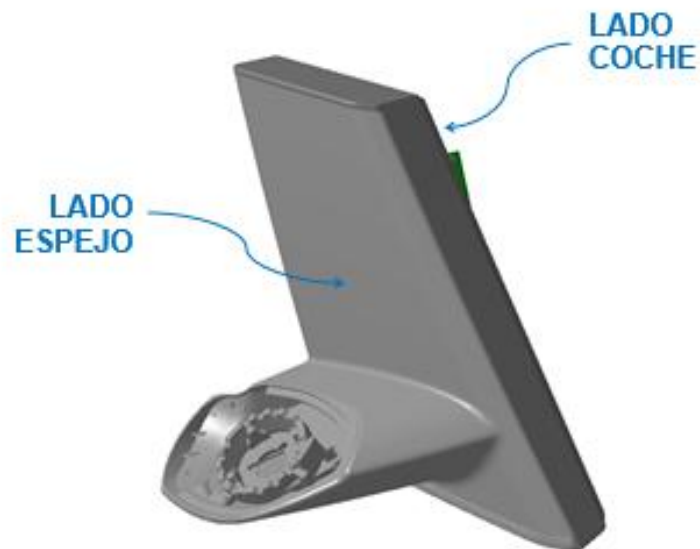


Figura 0.2. Soporte físico para el acoplamiento del espejo

La Figura 0.2 muestra el soporte físico para el acoplamiento del espejo retrovisor al coche. En el interior de este soporte están integradas ambas partes del sistema.

El lado coche está formado por:

- Un transmisor de datos, que convertirá y enviará por RF los datos que provengan de la ECU Central. Estos datos vienen mediante Bus LIN y los envía al receptor mediante Zigbee.
- Un transmisor de potencia, que enviará la potencia requerida por el receptor para alimentar los actuadores.

El lado espejo está formado por:

- Un receptor de los datos enviados por el transmisor, que mantendrá una comunicación bidireccional.
- Un receptor de potencia, que recibirá y adecuará la potencia para alimentar al controlador de actuadores.
- Un controlador de actuadores, que a partir de la información que ha recibido el receptor de datos, enciende o apaga los actuadores.

Para la transmisión y recepción de potencia, se ha utilizado una tecnología Wireless Power, basada en el estándar Qi que transfiere la potencia mediante inducción magnética. A parte del Qi, también existe otro estándar importante. En el Capítulo 1 de esta memoria explicaremos los dos con más de detalle.

Dado que la transferencia de potencia se hace mediante inducción, a una frecuencia de 131 KHz, y necesitábamos una distancia máxima de 5 mm, he puesto el transmisor a esa distancia del receptor, para poder hacer la transmisión de potencia, como podemos ver en la Fig. 0.3.

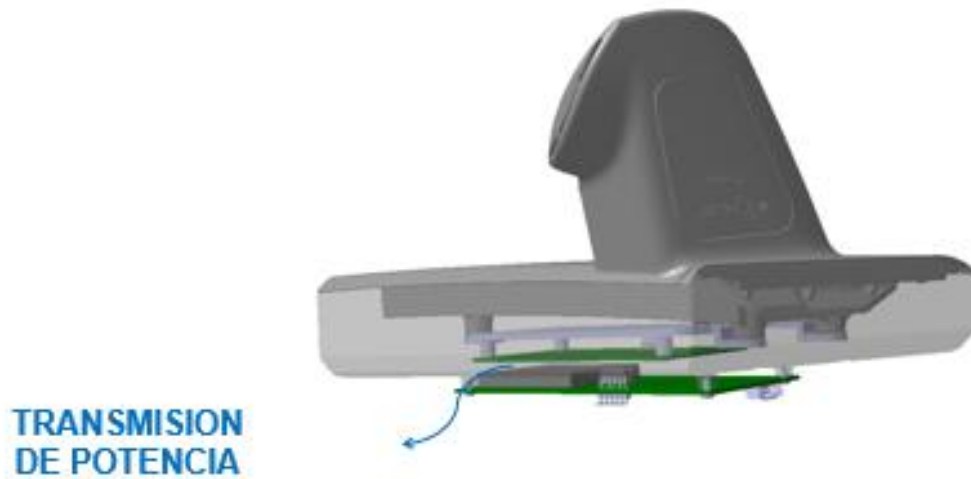


Figura 0.3. Transmisión de potencia con soporte

La transmisión y recepción de datos se ha implementado utilizando el protocolo de comunicaciones Zigbee. Utilizando los módulos de telegesis (ETRX357) mostrados en la Fig. 0.4.

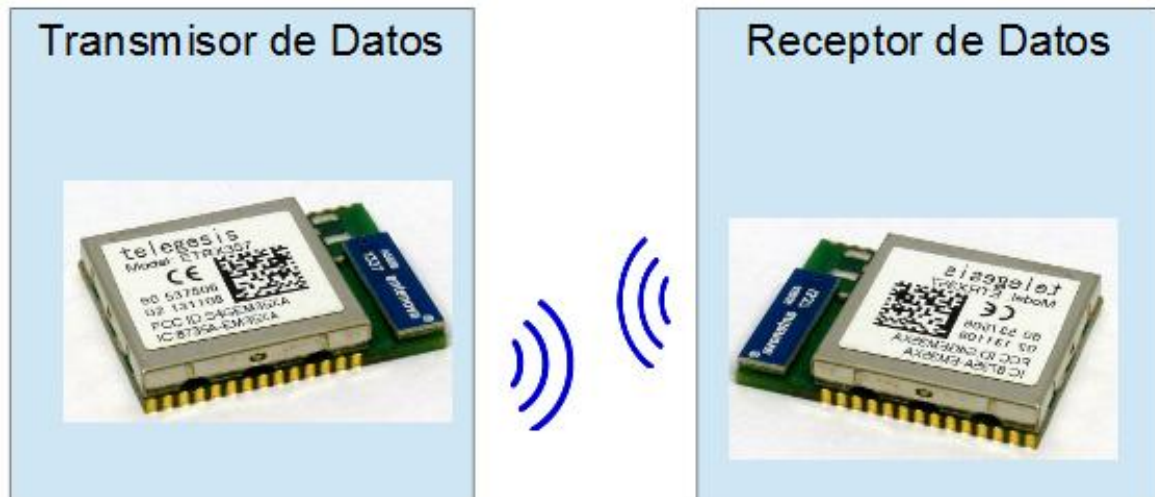


Figura 0.4. Enlace Zigbee

Para el control de actuadores se ha utilizado un sistema previamente utilizado por la empresa Idneo, que es donde se ha realizado el proyecto. Este proyecto se plantea como una evolución en cuanto a la alimentación y comunicaciones de los actuadores que ya había diseñado Idneo previamente. La Fig. 0.5. muestra la arquitectura del sistema previamente diseñado y como se divide este esquema cuando incorporamos la alimentación inalámbrica y las comunicaciones sin hilos. Parte de este sistema debe integrarse en el lado del coche y la otra parte, en el lado del espejo. En la figura se han marcado la distribución de cada uno de los bloques.

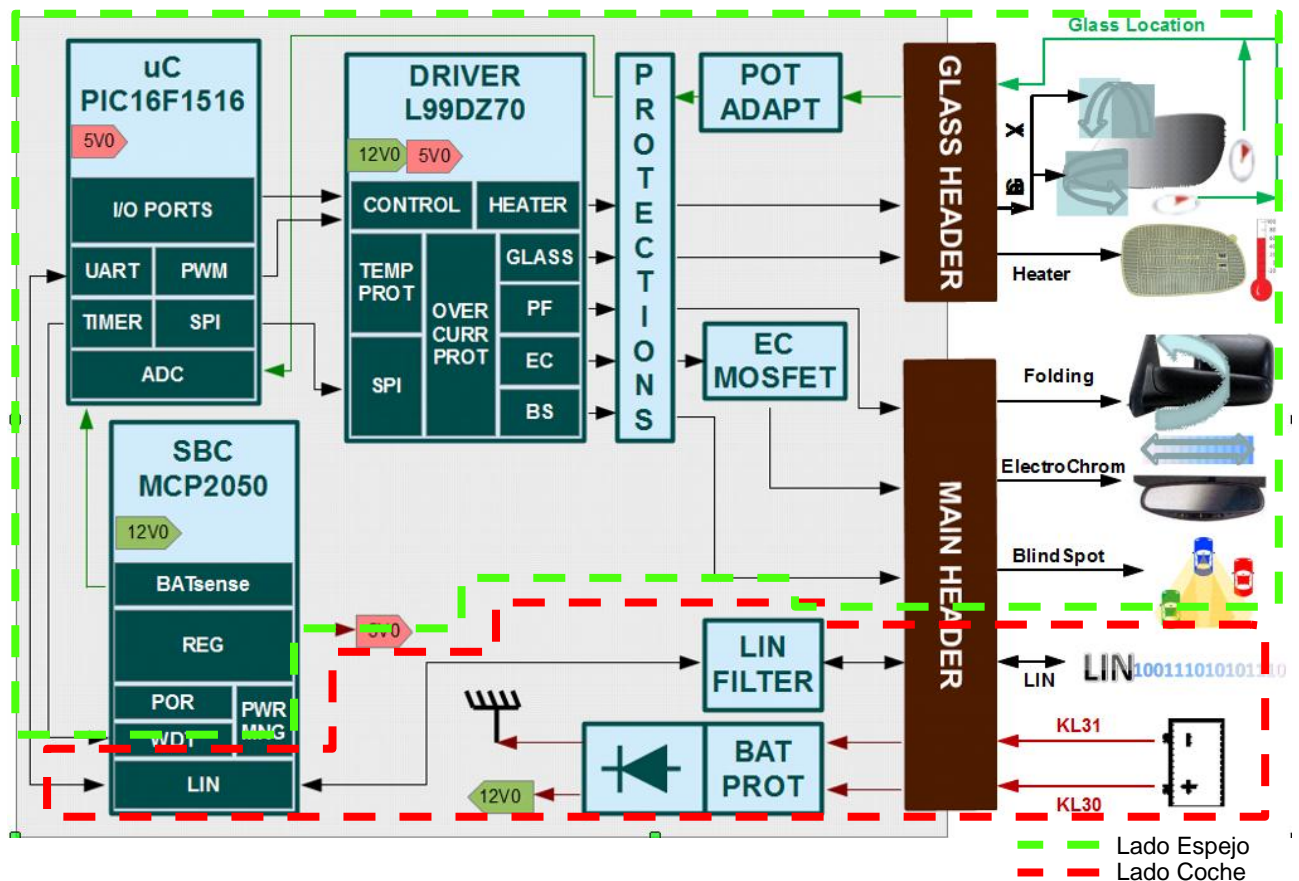


Figura 0.5. Arquitectura de controlador de actuadores montada por Idneo previamente al proyecto

Lado coche

Los sistemas de protección a la tensión de alimentación se han asignado al lado coche ya que es allí donde se alberga la batería. Además se han incluido las etapas de acondicionamiento de la señal de comunicaciones de la unidad de control del coche (*Electronic Control Unit*, ECU). Estas señales de control de actuadores deben acondicionarse mediante las siguientes etapas:

- Filtrar la comunicación LIN para limpiarla de ruido.
- Convertir los datos de LIN a UART, ya que el módulo de telegesis tiene entrada UART.
- Enviar los datos mediante el protocolo Zigbee al receptor.

Lado espejo

En el lado espejo, recibimos los datos que envía el módulo de telegesis (lado coche) al módulo de telegesis (lado espejo) y éste envía al microcontrolador. El microcontrolador procesa la información recibida, observa el estado de los actuadores (medidas de corriente, medidas de voltaje, protecciones, etc.) y es el encargado de decirle al driver cuando activar cada actuador.

Esta memoria se ha estructurado en cuatro capítulos. En el primer capítulo se describirán los diferentes estándares que existen actualmente para la transmisión sin hilos. En el segundo capítulo, se hará una pequeña explicación a alto nivel del estándar elegido (Qi) y un resumen de los principios básicos que se utilizan en este estándar. En el capítulo 3, se describe el sistema diseñado y su funcionamiento. Finalmente, el capítulo 4 muestra los resultados experimentales obtenidos.

CAPÍTULO 1. COMPARACIÓN DE ESTÁNDARES

En este capítulo se explican cada uno de los estándares que existen de transferencia inalámbrica de energía y finalmente se valoran sus características con objeto de seleccionar uno para la aplicación del proyecto.

A raíz de la oportunidad de negocio que genera la transferencia inalámbrica de potencia, muchas empresas y asociaciones unieron sus fuerzas para crear consorcios. Existen 2 consorcios importantes de transferencia inalámbrica de potencia:

- El *Wireless Power Consortium*, fundado en 2008, es un grupo de fabricantes líderes, con una amplia gama de industrias que entienden el potencial sin explotar de carga inalámbrica. Ya cuenta con más de 800 productos que incluyen su estándar. Este estándar está más focalizado a la gran transmisión de potencia, y no tanto a la flexibilidad de movimientos, ya que el acoplo de las bobinas debe ser óptimo y la distancia entre ellas debe ser muy corta.

Algunos de sus miembros son líderes en el sector de la telefonía móvil, electrónica de consumo, fabricación de componentes semiconductores, empresas que investigan en tecnología de energía inalámbrica y empresas que ofrecen infraestructura (fabricantes de muebles, piezas de automóviles, operadores inalámbricos, etc.).

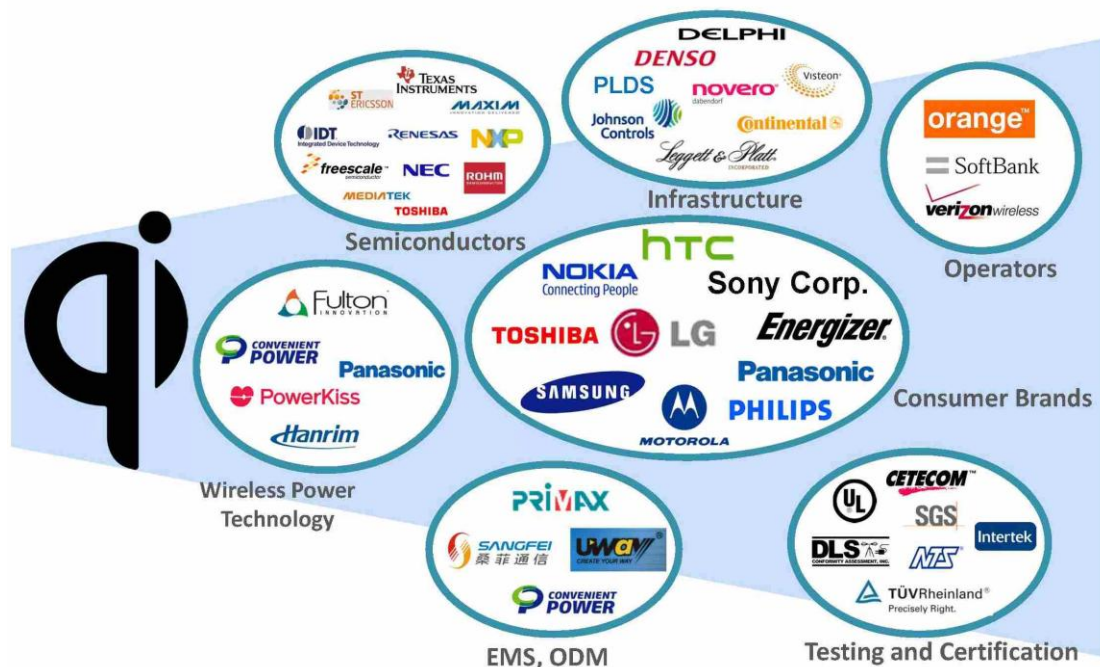


Figura 1.1. Miembros estándar Qi

- *Aliance for Wireless Power (A4WP)*, es otra organización sin fines lucrativos. Se dedica a la construcción de un ecosistema global de carga inalámbrica basada en la tecnología Rezence. Desde la formación de la organización, a principios de 2012, el A4WP ha crecido para incluir marcas líderes de una amplia gama de industrias, incluyendo la electrónica de consumo, servicios móviles, tecnología inalámbrica, automoción, mobiliario, software, etc. Este estándar no tiene tanta eficiencia pero permite mayor flexibilidad de movimientos del receptor.



Figura 1.2. Miembros estándar A4WP

En principio eran 3 los estándares importantes, el otro era PMA, pero A4WP se fusionó con este y finalmente son dos los grandes estándares.

Como se puede ver en las imágenes, muchas de las compañías están en los dos estándares, esto es porque cada una ofrece diferentes funcionalidades.

1.1. ESTÁNDAR WPC (Qi)

El estándar Qi es un método de transferencia de energía sin contacto, se basa en la transferencia de campo de inducción magnética entre las bobinas.

Se define como Estación Base, al dispositivo encargado de tratar la corriente continua y transmitir la potencia hacia el receptor. Por otro lado, está el Dispositivo Móvil, que es el encargado de recibir la potencia, tratarla y enviar la comunicación de control a la Estación Base.

El estándar Qi tiene las siguientes características:

- Transferencia hasta de 10 W de potencia (de momento el estándar solo contempla hasta esta cantidad, pero al estar en plena evolución el estándar se va ampliando).
- Operar a frecuencias en el rango de 100 kHz a 205 kHz.
- Apoyo a dos métodos para colocar el dispositivo móvil en la superficie de la Estación Base:
 - Posicionamiento guiado: ayuda a un usuario a colocar adecuadamente el dispositivo móvil en la superficie de una Estación base que proporciona energía a través de una sola o unas pocas ubicaciones fijas de esa superficie.
 - Libre Posicionamiento: permite la colocación arbitraria de los dispositivos móviles en la superficie de una Estación Base, que puede proporcionar potencia a través de cualquier ubicación de esa superficie.
- Un protocolo de comunicaciones sencilla que permite al dispositivo móvil tomar el control total de la potencia transferencia. Dado que el receptor se auto adapta a la carga, da una flexibilidad de diseño considerable y hace que la integración del estándar al sistema sea bastante fácil.
- Muy baja potencia stand-by (depende de la implementación).

En el Dispositivo Móvil, siempre debe haber una bobina que recibe la energía, un rectificador para convertirla en CC, un control de potencia y una carga.

Por otro lado, en la Estación Base debe haber una bobina transmisora de energía, un convertidor de corriente continua a alterna, un receptor de comunicaciones capaz de interpretar lo que le dice el receptor y un controlador encargado de controlar todas estas funciones. Todo esto lo podemos ver en la Fig. 1.3.

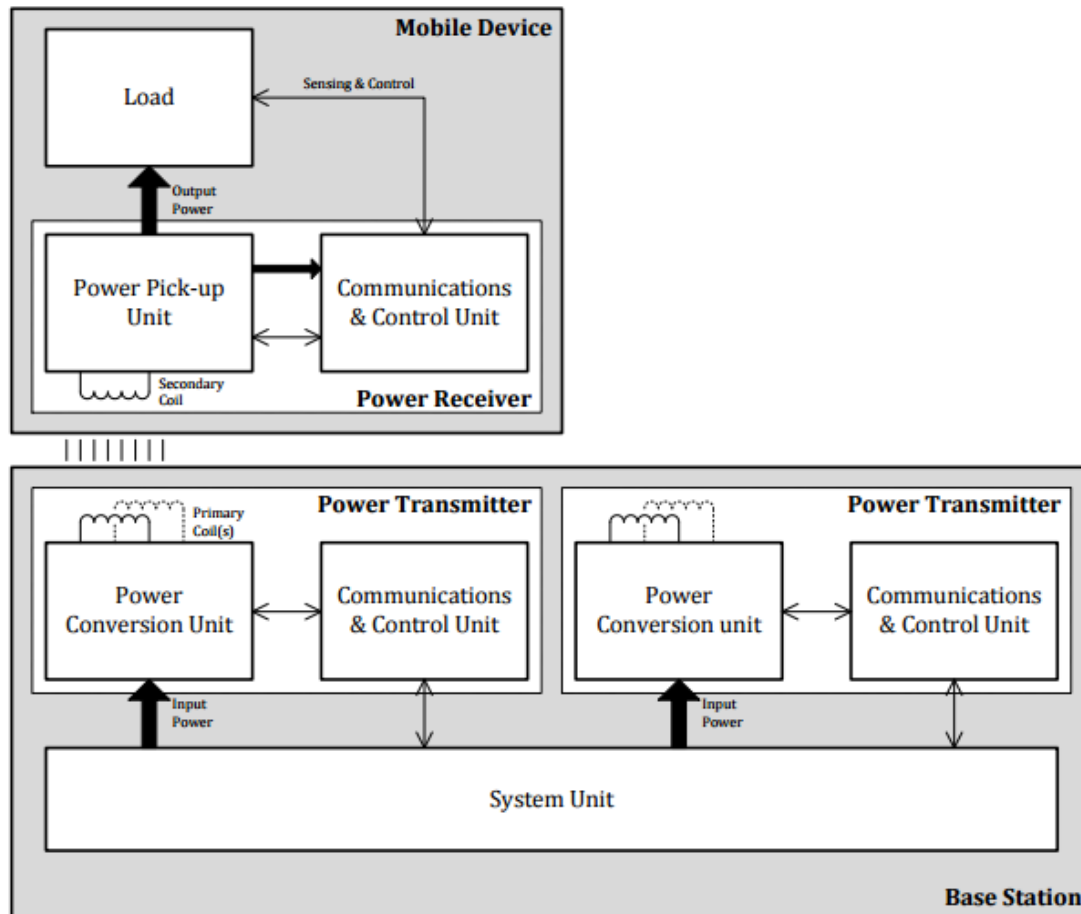


Figura 1.3. Arquitectura del estándar Qi

1.2. A4WP (Rezence)

A4WP es un sistema de transferencia de energía inalámbrico que solamente utiliza un transmisor de energía (*Power Transmission Unit*, PTU) y uno o más receptores de energía (*Power Receiver Unit*, PRU).

Este estándar utiliza acoplamiento por resonancia magnética. Es el acoplamiento magnético que se produce cuando dos objetos intercambian energía a través de la oscilación de sus campos magnéticos. Cuando las frecuencias naturales de los dos objetos son aproximadamente las mismas, tiene lugar el acoplamiento resonante.

La frecuencia de transmisión de energía es de 6.78 MHz. Pueden ser alimentados hasta ocho dispositivos PRU, desde una sola PTU. El enlace se hace mediante Bluetooth Low Energy (BLE), está destinado al control de los niveles de potencia, la identificación de cargas válidas y protección de los dispositivos que no cumplen. La Fig. 1.4, ilustra la configuración básica del sistema WPT entre un PTU y un PRU. La PTU puede ser ampliada para servir a múltiples PRU independiente.

Tanto la PTU, como la PRU se componen de tres unidades funcionales principales:

- Unidad de resonador y coincidente.
- Unidad de conversión de potencia.
- Unidad de señalización y control.

El protocolo de control y comunicación para la red Wireless Power es bidireccional. Es una arquitectura full-dúplex y se utiliza para señalar características de la PRU a la PTU, así como para proporcionar retroalimentación que permitirá la optimización de la eficiencia, protección de sobretensión, para impedir bajo voltaje y para detección de un objeto no deseado.

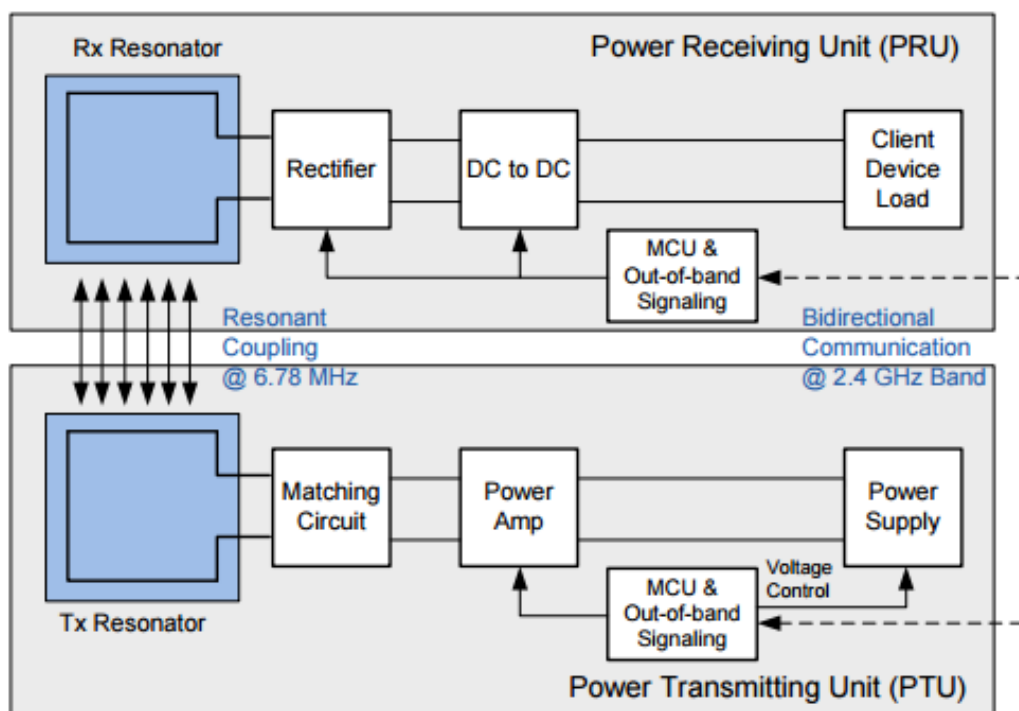


Figura 1.4. Arquitectura del estándar A4WP

La red WPT es una topología de estrella con la PTU como master y PRU como esclavos. La PTU y PRU realizan la comunicación bidireccional entre sí para identificar el cumplimiento del dispositivo y el intercambio de la información de negociación de energía.

1.3. Elección del estándar

Obviamente los dos estándares tienen ventajas y cada uno de ellos tiene su mercado. Veamos las ventajas que hay entre ellos y porque elegimos finalmente el WPC:

- Ventajas del WPC: Puede llegar a obtener una eficiencia de 85% mientras el A4WP llega como mucho a 50%, la frecuencia de conmutación es a 131 KHz mientras el A4WP es a 6.78 MHz con lo cual es más fácil trabajar. Además el consumo de la carga para un sistema basado en WPC puede alcanzar 10 W, y para uno basado en A4WP no supera los 5 W.
- Ventajas de A4WP: Permite más libertad de movimiento, tanto la distancia de bobinas, como la alineación entre ellas. De hecho al utilizar la inducción magnética resonante, cuanto más desacopladas están mayor eficiencia obtiene. Y también permite más receptores, hasta 8 mientras el WPC solo permite 1.

Características \ STD	WPC	A4WP
Metodo Transferencia	Acoplamiento Inductivo	Resonancia Magnética
Freq	100 kHz – 205 kHz	6.78 MHz
Numero receptores	1	8
Comunicación	Modulo aparte	Bluetooth Low Energy
Alineamiento	Necesario	No necesario
Rx/Tx max distancia	5mm	25mm
Eficiencia máx	80%	50%
Transmisión potencia (Previsión Futuro)	10W (2,5KW futuro)	5W (90W futuro)

Tabla 1.1. Características WPC / A4WP

La siguiente tabla muestra una comparativa entre ambos estándares. Considerando que tanto el emisor como el receptor están en una posición fija, la libertad de movimiento (baja sensibilidad a la alineación y distancia) que ofrece A4WP no es un factor importante. En cambio, se ha considerado relevante la mayor capacidad de potencia y disponibilidad en el mercado de dispositivos para la implementación del WPC.

Características \ STD	WPC	A4WP
Comunicaciones	●	●
Alineamiento	●	●
Multicarga	●	●
Distancia entre TX/RX	●	●
Eficiencia	●	●
Potencia transmitida	●	●
Compañías del consorcio	●	●
Miembros relacionados con automoción	●	●
Productos Certificados	●	●
Productos para Automoción	●	●
Perjudicial para el cuerpo humano	●	●

Tabla 1.2. Comparación WPC / A4WP

CAPÍTULO 2. ESTANDAR WPC (Qi)

2.1 Descripción a alto nivel

Este estándar se utiliza básicamente para la telefonía, y su terminología está muy encarada a ese sector.

Se define:

- La Estación Base, siempre está fija en un lugar (en nuestro caso, la parte del coche). Puede contener uno o más transmisores, estos son los encargados de proporcionar la energía al receptor.
- El Dispositivo Móvil, contiene un receptor que se encarga de dos funciones:
 - Proporcionar energía a una carga, ya sea directamente (como es nuestro caso), o indirectamente, mediante una batería.
 - Proporciona información de control al transmisor

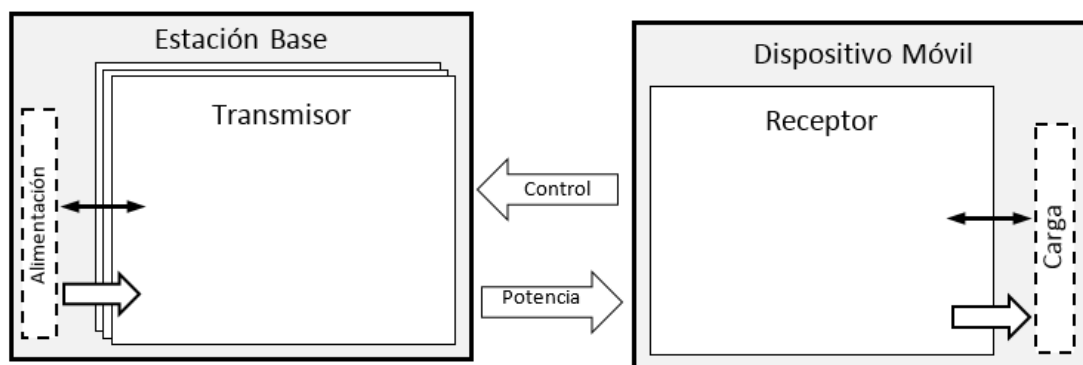


Figura 2.1. Descripción alto nivel

2.1.1 Conversión de potencia

El transmisor es básicamente un inversor de potencia formado por un puente o semipunto de transistores y un tanque resonante (bobina y condensador). Mediante la acción del inversor se convierte la tensión de corriente continua (CC) de alimentación de la fuente en una señal cuadrada. Esta tensión de corriente alterna (CA) es utilizada para polarizar la bobina creando un campo magnético alterno. De esta forma se convierte la energía eléctrica a energía en forma de campo magnético.

La bobina del receptor reconvierte el campo magnético en una tensión inducida CA. Mediante un rectificador se transforma finalmente a una tensión CC que alimenta la carga.

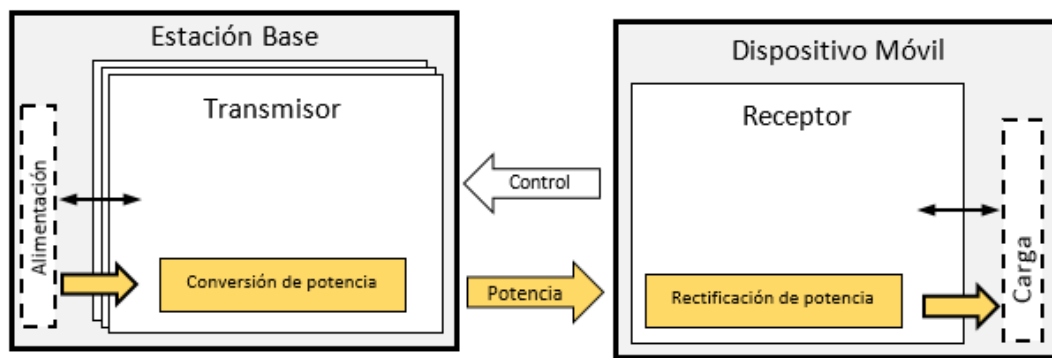


Figura 2.2. Conversión de potencia

2.1.2 Control de potencia

El sistema de alimentación está gobernado por tres lazos de control. Por un lado, se regula la tensión de alimentación de la carga. Esta tensión debe ser siempre la misma independientemente del consumo, campo magnético generado o del acoplamiento entre la estación base y el dispositivo móvil. Para tal fin se utiliza un regulador de tensión, ya sea lineal o conmutado, entre la salida del rectificador y la carga. También se controla la intensidad del campo magnético generado (potencia requerida). Un campo magnético demasiado intenso ocasiona altas pérdidas en el transmisor y si es demasiado bajo, puede ser insuficiente para proporcionar la potencia que consume la carga. El control del campo se realiza mediante dos lazos; uno externo y otro interno. El control externo determina a partir del consumo de la carga cuál debe ser la corriente en la bobina del transmisor. La consigna de corriente (Control error) obtenida por este lazo se transmite inalámbricamente a la estación base donde se implementa el lazo de control interno. Éste controla la acción del inversor con objeto de obtener una corriente en la bobina igual a la de consigna.

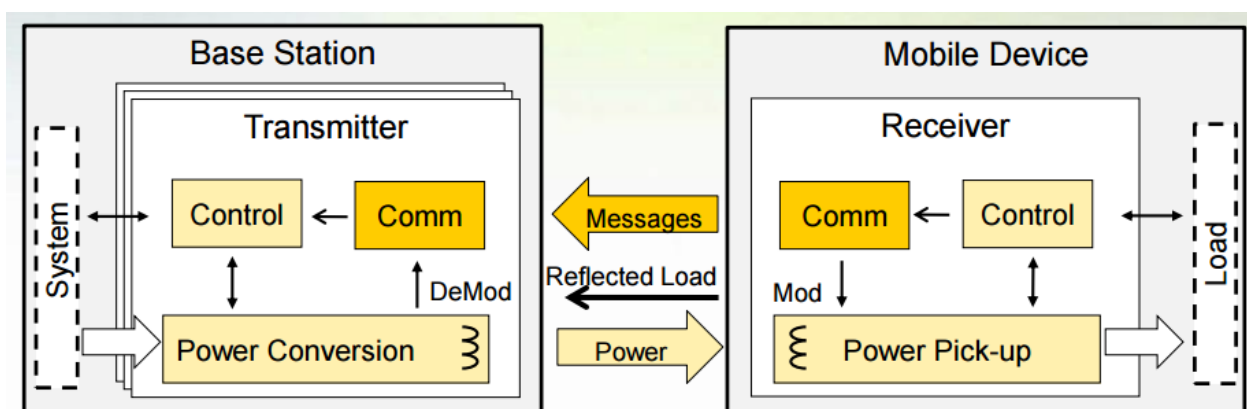


Figura 2.3. Control de potencia

La transmisión de la consigna de control del receptor al transmisor se hace inalámbricamente mediante el propio campo magnético utilizado para transmitir la energía. El receptor modula la corriente en la bobina y esta señal es reflejada en la tensión de la bobina del transmisor. Un demodulador proporciona finalmente la consigna de control del inversor.

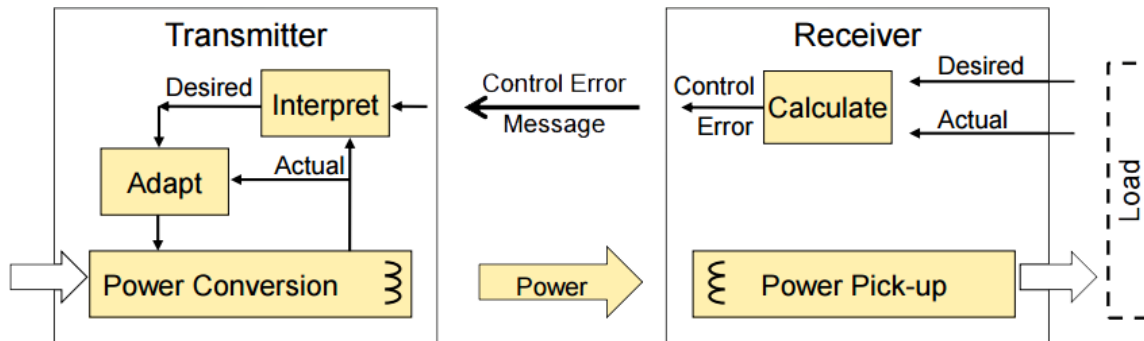


Figura 2.4. Control de error

2.1.3 Codificación de la señal de control

El formato de la trama de datos que se envía mediante la modulación AM. Está formada por:

- Un preámbulo (≥ 11 bits): indica el inicio de trama.
- Un encabezado (1 Byte): indica información de los dispositivos, ID's, etc.
- Un mensaje (de 1 Bytes a 27 Bytes): indica la información que el transmisor necesita saber para deducir la potencia que debe enviar.
- Un checksum (1 Byte): Control de errores de la trama.

Esta trama se envía a una velocidad de 2Kbit/s.

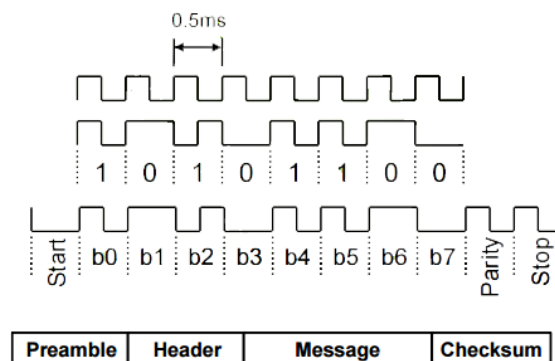


Figura 2.5. Formato de la trama

2.1.4 Comunicación y control

La comunicación y control se gestionan mediante la siguiente secuencia (Fig.2.6):

Start

- El transmisor proporciona la señal y se pone en modo escucha, esperando detectar la presencia de un objeto (receptor potencial).
- Mientras el receptor entra en modo espera.

Ping

- El receptor indica su presencia comunicando la intensidad de señal recibida.
- El transmisor detecta la respuesta del receptor.

Identificación y Configuración

- El receptor comunica su identificador y la potencia requerida al transmisor.
- El transmisor se configura para la transferencia de potencia.

Transferencia de Potencia

- El receptor comunica los datos de control.
- El transmisor adapta la energía que requiere el receptor.

Finalmente se repite el último paso hasta que deja de detectar la presencia del receptor y deja de enviar energía.

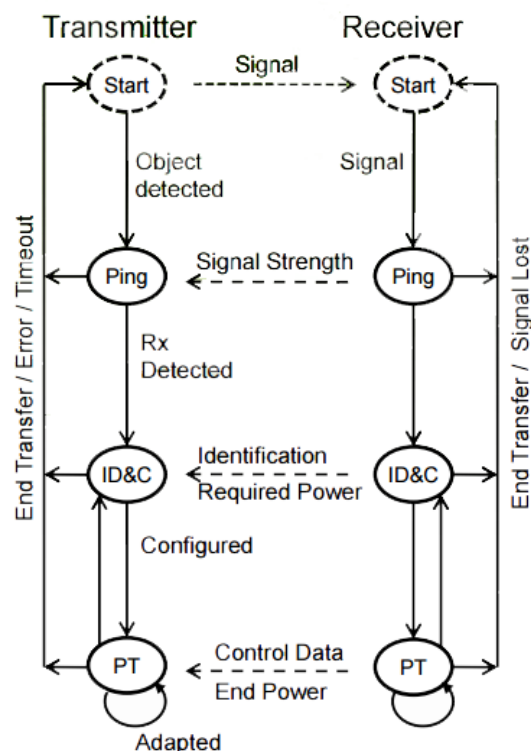


Figura 2.6. Diagrama comunicación

2.2 Pérdidas de transmisión-recepción

Se define como factor de pérdidas (λ) a la relación entre las pérdidas (P_{loss}) y la potencia que llega a la carga (P_{out}).

$$\lambda \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P_{loss}}{P_{out}} \quad (2.1)$$

P_{loss} es la potencia disipada en forma de calor por el sistema de alimentación inalámbrico. Es por tanto una energía no aprovechada por la carga que se disipa por el funcionamiento de los circuitos de control y comunicaciones, disipación en el puente de transistores y rectificador, así como de los tanques resonantes. Estos últimos componentes de P_{loss} dependerán de dos factores:

- Factor de la calidad de la bobina, identificado como Q.
- Factor de acoplamiento entre la bobina receptora y transmisora, identificado como k.

El factor de calidad corresponde a la tangente del desfase de la corriente respecto a la tensión en la bobina.

$$Q \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\omega \cdot L}{R} \quad (2.2)$$

El factor de calidad Q depende principalmente de la forma y el tamaño de la bobina, así como los materiales utilizados. Los factores de calidad son proporcionados generalmente por técnicas estándar de bobina (por ejemplo, bobinas de hilo bobinado, bobinas PCB). En una bobina ideal, este desfase sería de 90° y Q sería infinito, al no haber pérdidas por el efecto Joule en la bobina.

Otro factor que introduce pérdidas es el factor de acoplamiento. Este factor indica del flujo que genera la bobina transmisora, cuanto penetra a la bobina receptora. Este factor depende de la distancia entre la bobina de transmisión y la de recepción, así como el tamaño relativo entre ellas, la forma geométrica de las bobinas y la posición relativa entre ellas. Cuanto más flujo llega al receptor, mejor están las bobinas acopladas. Como podemos ver en la Fig.27 no todo el campo generado por la bobina L1 penetra a la bobina L2.

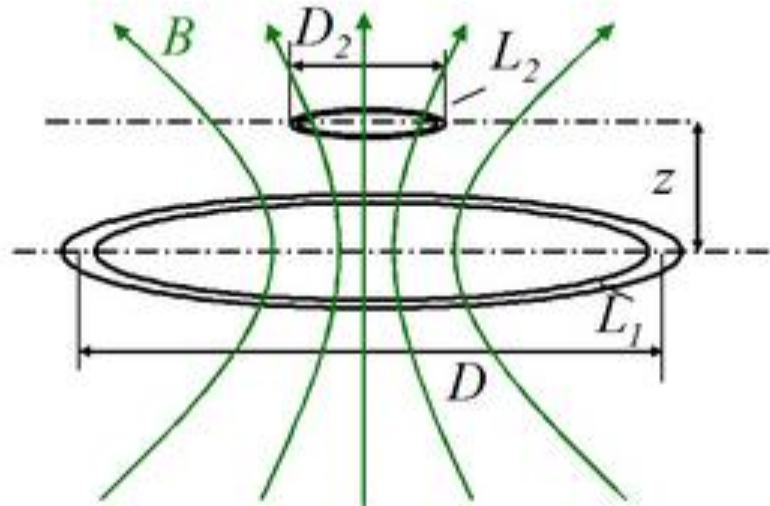


Figura 2.7. Acoplamiento de bobinas

El factor de acoplamiento es un valor entre 0 y 1. El acoplamiento perfecto, cuando todo el flujo generado penetra en la bobina receptora, sería $k=1$. Mientras que tendríamos un valor de k nulo si no alcanza el flujo magnético a la bobina receptora. Si el factor de acoplamiento es negativo significa que el receptor capta el flujo magnético "desde atrás".

En la Fig.2.8 muestra cómo cambia el factor de acoplamiento en función de, la distancia entre bobinas y la posición relativa de ellas.

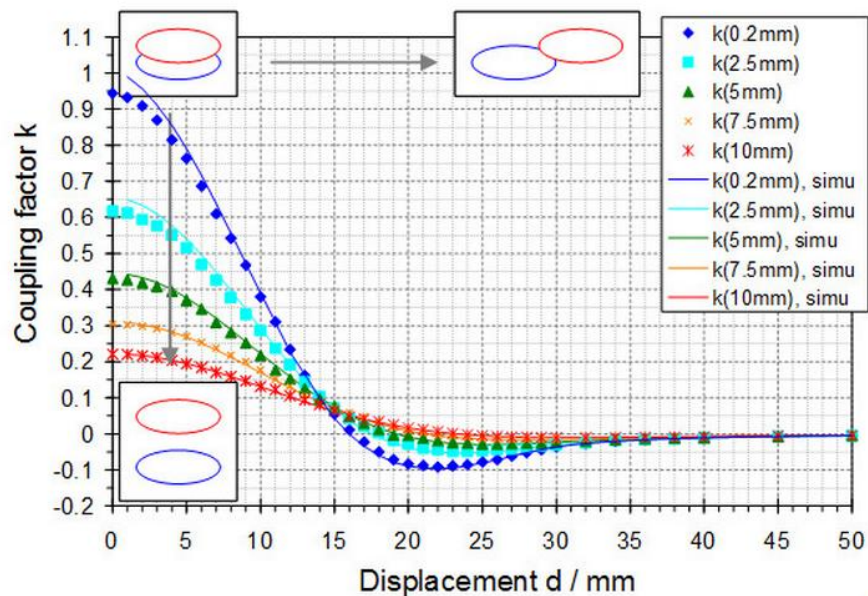


Figura 2.8. Factor de acoplamiento en función de la distancia

Otro factor que influye en el factor de acoplamiento es el blindaje de la bobina (shielding). El *Shielding* es un soporte que se añade bajo las bobinas primaria y secundaria y es importante para la transferencia segura de energía inalámbrica. Sin blindaje, se pueden producir los siguientes problemas:

- El campo magnético puede interferir con el dispositivo u otros objetos
- Puede causar un calentamiento de la batería (si estuviera conectado a una batería, en nuestro caso no aplica porque va conectado directamente a la carga).
- El campo magnético puede producir corriente de Foucault en partes metálicas aumentando las pérdidas.

Hay dos métodos básicos para hacer un blindaje contra campos magnéticos:

- La desviación del flujo magnético con materiales de alta permeabilidad
- La generación de flujo de oposición a través de la ley de Faraday. Al incidir un campo magnético variable, se genera corrientes que producen un campo magnético opuesto.

Suponiendo que el medio externo es espacio libre con $\mu = \mu_0$ y el blindaje está construido de un material ferromagnético que tiene $\mu = \mu_r \mu_0$ con $\mu_r \gg 1$, el campo magnético tenderá a concentrarse en la trayectoria ferromagnética de baja reluctancia, y como tal será desviado a la región de espacio libre. Para conseguir este efecto, la placa de ferrita tiene que ser lo suficientemente gruesa, de lo contrario, el flujo de fuga en el espacio libre es considerable.

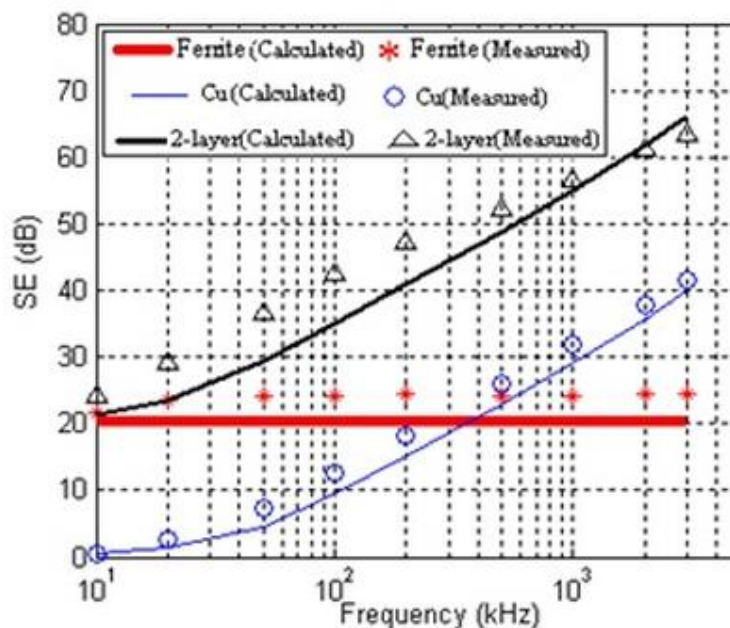


Figura 2.9. Eficacia del blindaje

La eficacia del blindaje (SE) es un parámetro usado para la evaluación de blindaje. Se define como la relación entre la intensidad de campo sin el blindaje y la intensidad de campo con el blindaje interpuesto. La Fig 2.9 muestra la efectividad de blindaje al utilizar sólo ferrita, sólo el cobre y la combinación de ellos.

A partir del factor de acoplamiento (k) y de calidad de la bobinas se puede optimizar el diseño para obtener un factor de pérdidas mínimo [6].

$$\lambda_{min} = \frac{2}{(k \cdot Q)^2} (1 + \sqrt{(k \cdot Q)^2 + 1}) \quad (2.3)$$

.

El factor de pérdidas mínimo, también es el factor de pérdidas óptimo. Este se consigue cuando hay un ajuste correcto entre la potencia que demanda la carga y la interpretación que hace el transmisor de esta potencia. Aunque este valor es ideal, y nunca se podrá alcanzar ya que no se tienen en cuenta las pérdidas de conducción de los puentes de transistores.

CAPÍTULO 3. Diseño del sistema.

Este capítulo describe tanto el diseño del transmisor como del receptor de potencia que comprenden el sistema de alimentación inalámbrico realizado en el proyecto. Se detallan los componentes utilizados no únicamente para implementar los elementos básicos sino también los circuitos protección necesarios.

3.1 Especificaciones de diseño

El diseño parte de las siguientes especificaciones típicamente utilizadas en el sector automovilístico:

- Rango de la tensión de alimentación 9-16V (12V Nominal). Este es el rango de tensiones típico en automoción. Dependiendo del estado de la batería (carga, temperatura, etc.) la tensión puede variar.
- Inmunidad a sobretensiones transitorias en la batería. Existen distintos tipos de transitorios típicos en automoción los más famosos son los que engloban las normas ISO 7637-2 y ISO 16750-2.
- Protección contra la conexión en polarización inversa. En los productos de automoción que van conectados directamente a batería se exige una protección contra un mal conexionado de la batería.
- Consumo de 10 W. Necesitamos al menos 10 W para poder alimentar a todos los actuadores.

3.2 Transmisor de potencia

El sistema propuesto está basado en el controlador bq500215 de Texas Instruments (TI). Aunque se contemplaron otros dispositivos de Toshiba (Fig.3.1) y *Integrate Device Technology* durante el diseño, se seleccionó finalmente el controlador de TI por ser el más extendido en el mercado y tener mayor capacidad de potencia.

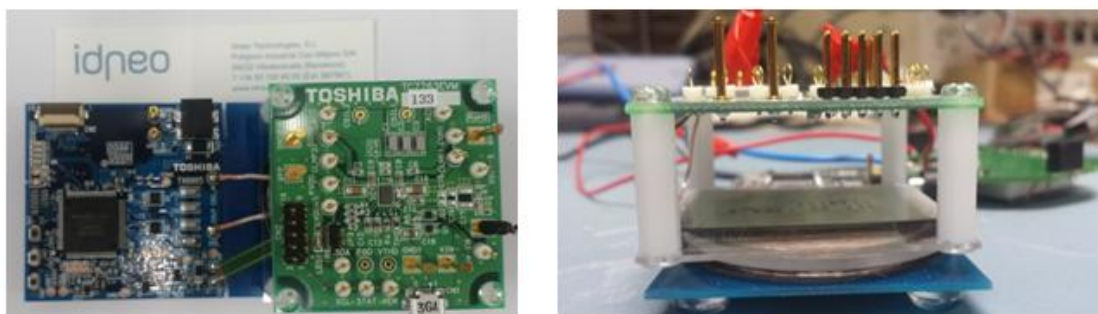


Figura 3.1. Placa de evaluación Toshiba

La Fig. 3.2 muestra un esquema de bloques del transmisor basado en el bq500215. La primera etapa está formada por los sistemas de protección a sobretensiones y de protección contra polarización inversa. De la tensión de batería (VBAT) cuelgan 3 bloques:

- Un regulador de tensión conmutado que proporciona al puente de transistores una tensión de alimentación constante VRAIL para todo el rango de la tensión de alimentación (entre 8 V y 16 V).
- Un regulador de tensión que proporciona una tensión de alimentación de 3.3 V al bq500215.
- Un regulador lineal que sirve para alimentar los Mosfets de los semipuentes a 5 V.

Un sensor de corriente implementado mediante el amplificador diferencial INA199A1 mide la corriente del puente del transistores en VRAIL. Esta medida sirva al controlador bq500215 para realizar el lazo de control interno.

El puente de transistores polariza la bobina (o el tanque resonante) a partir de VRAIL y dos señales de control PWM_A y PWM_B generadas por el controlador. Se utiliza dos semipuentes en su implementación.

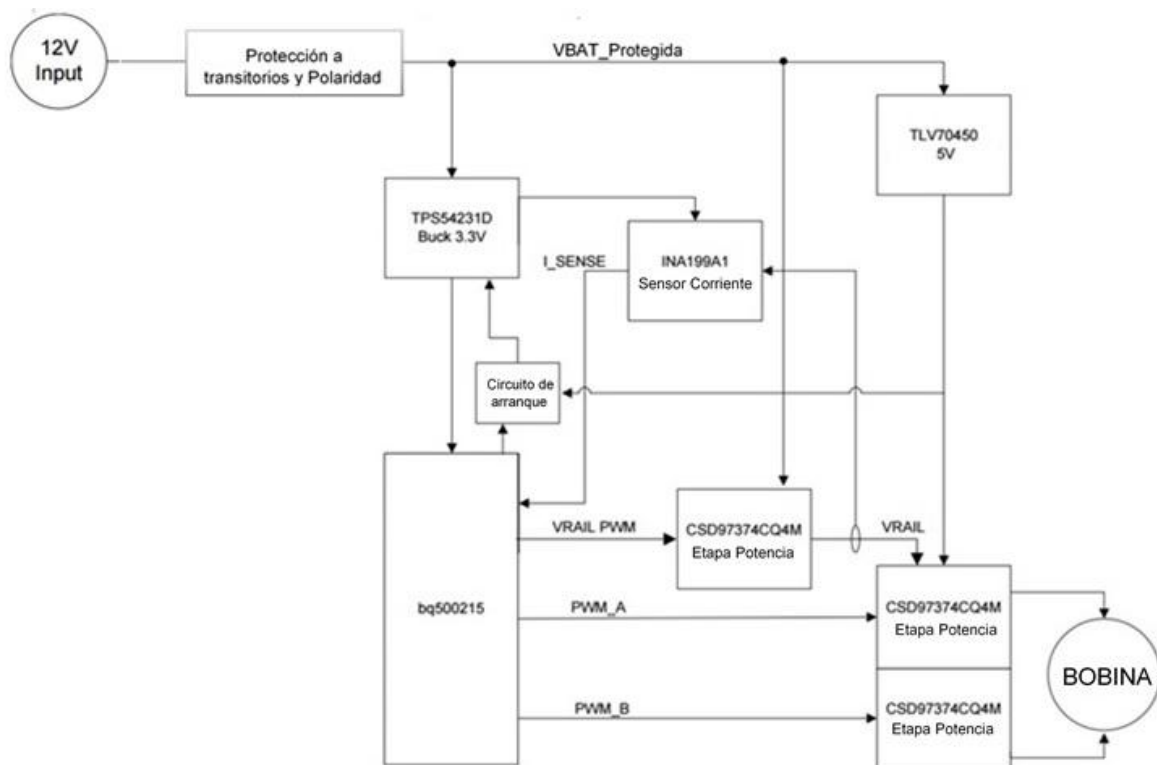


Figura 3.2. Diagrama de bloques del Transmisor

3.2.1 Protección frente a sobretensiones y polarización en inversa

Dado que este sistema está conectado directamente a la batería del coche, debe soportar una serie de sobretensiones transitorias. Los más conocidos son los que engloba la ISO 7637-2 y la 16750-2 (Pulso 1, Pulso 2a, Pulso 2b, Pulso 3a, Pulso 3b, pulso 4, pulso 5a y pulso 5b*). Para poder soportar esta serie de pulsos es necesario utilizar un TVS (pulsos lentos) y uno o más condensadores (pulsos rápidos) en paralelo con la carga, como podemos ver en la Fig.3.3.

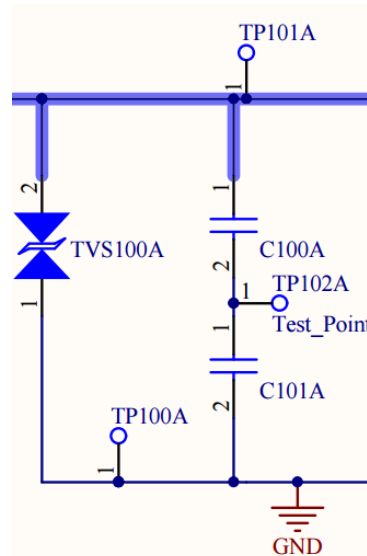


Figura 3.3. Protección contra sobretensiones. TVS y Condensadores

Para realizar la protección contra la conexión de polaridad inversa, existen varias soluciones. Nosotros hemos elegido protegerlo con un mosfet de canal P, el cual conduce cuando conectamos correctamente y se mantiene en abierto cuando lo conectamos en inversa.

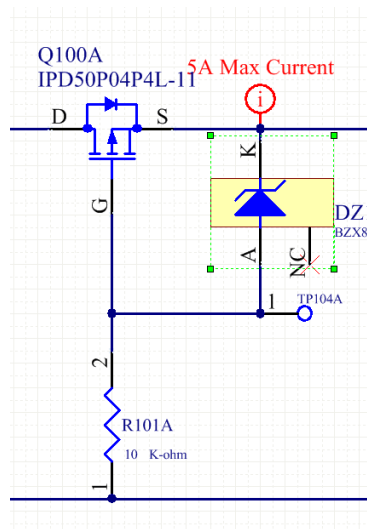


Figura 3.4. Protección polaridad inversa

3.2.2 Regulador Voltaje de entrada.

El sistema debe poder funcionar en un rango tensiones de alimentación. La tensión de la batería puede cambiar en función de su estado de carga, la temperatura y/o el estado de funcionamiento en carga o descarga. Tal y como se ha detallado anteriormente, se ha definido en este proyecto un margen de funcionamiento entre 8 V y 16V.

Con objeto de mantener una tensión de alimentación del inversor independiente de la tensión de la batería, se utiliza un regulador conmutado reductor (Buck) implementado mediante CSD97374Q de Texas, véase Fig.3.5.

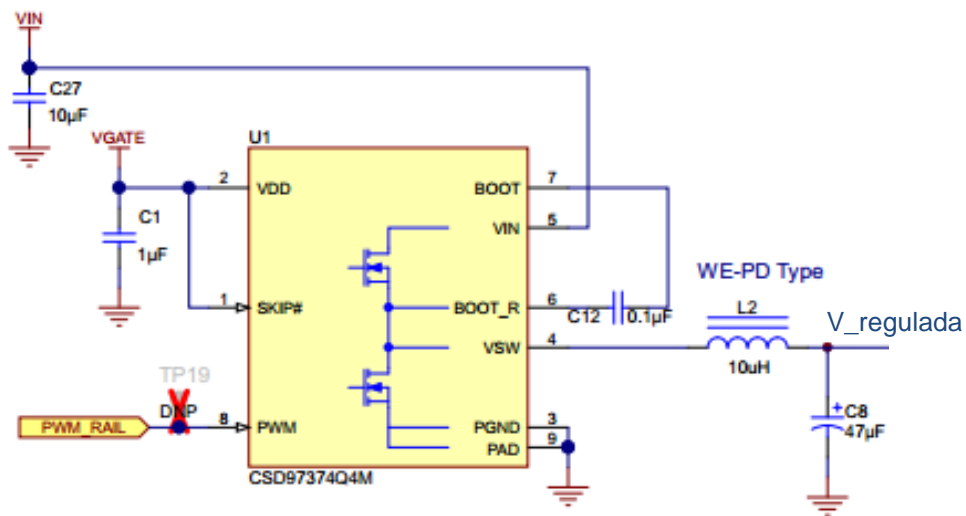


Figura 3.5. Regulador Buck

La tensión proporcionada es controlada por el propio controlador del inversor (bq500215) en función del consumo de la carga en el receptor. Esta tensión se regula mediante la señal PWM_RAIL que es la encargada de hacer conmutar el Buck a una frecuencia de 520 kHz, como podemos ver en la Fig. 3.6.

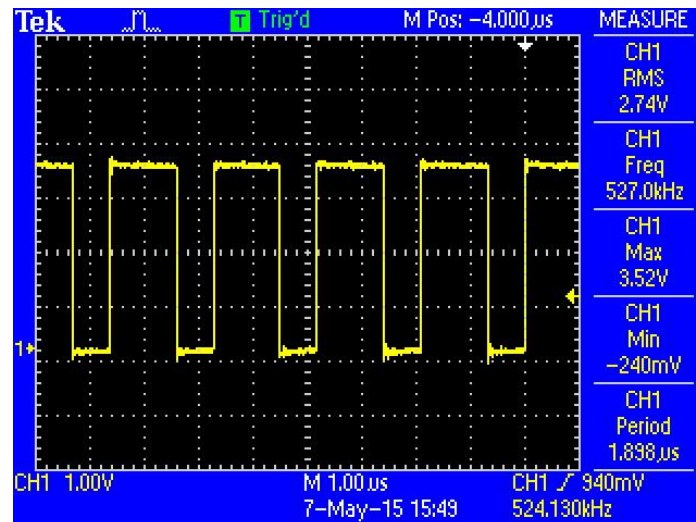


Figura 3.6. Señal PWM_Rail

3.2.3 Sensor corriente en la bobina del primario

A continuación de la tensión regulada, se utiliza una resistencia *shunt* de Rohm (UR73D2BTDD20L0F) de valor 20 mΩ, y un amplificador diferencial (INA199A1) para monitorizar la corriente que circula por la bobina. De este modo, el controlador la comparará con la consigna enviada por el receptor para implementar el lazo de control interno

En la Fig 3.7. se muestra el esquema del sensor, donde SH100C es la *Shunt* y U105C es el amplificador diferencial.

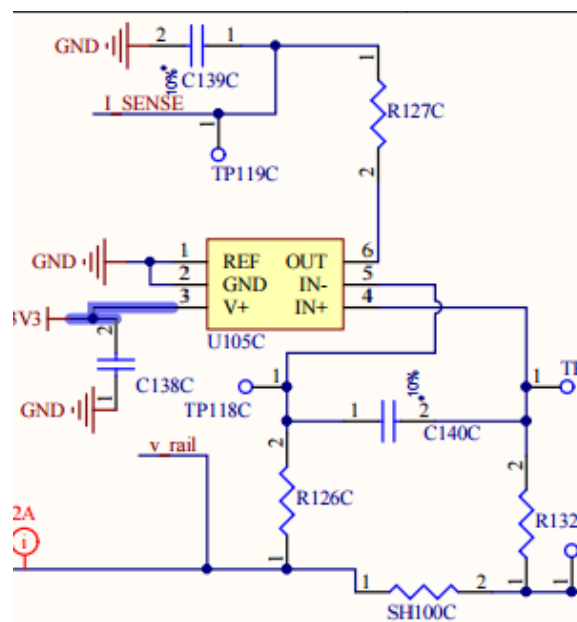


Figura 3.7. Circuito sensado de corriente

3.2.4 Tanque resonante

El diseño de los tanques resonantes implica la selección de la topología, el tipo de condensadores y de bobinas utilizados.

Existen diferentes modos de conexión de las bobinas y los condensadores. Pueden conectarse en serie (tanque resonante serie), en paralelo (tanque resonante paralelo) o utilizando estructuras más complejas. En este proyecto se ha elegido una topología de conexión serie tanto para el emisor como para el receptor.

En cuanto a la selección de condensadores, debe elegirse el tipo de dieléctrico utilizado, su capacidad y la tensión máxima de trabajo. El estándar WPC indica que deben soportar al menos 100 V y utilizar un dieléctrico C0G de alta calidad (también conocido como NP0) o superior. Por otro lado, se ha calculado que se necesitan 247 nF para obtener una frecuencia de resonancia de 101 kHz.

El estándar WPC también establece la bobina que se debe utilizar. Se deben utilizar una bobina del tipo A29 de 10 μH . Siguiendo estas especificaciones se ha elegido la bobina 744042331 de Würth.

3.2.5 Puente de transistores

El puente de transistores es utilizado por el transmisor para polarizar el tanque resonante y crear una corriente alterna en la bobina que genera el campo magnético. Estos circuitos son básicamente dos interruptores, implementados mediante transistores, que conectan la salida a masa o a la tensión de alimentación formando una tensión cuadrada de polarización.

En este proyecto se han implementado mediante dos integrados CSD97374Q4M formando cada una de las ramas del puente. Disponen de entradas digitales (D-PWMA y D-PWMB) que determinan el estado de cada semipuerto.

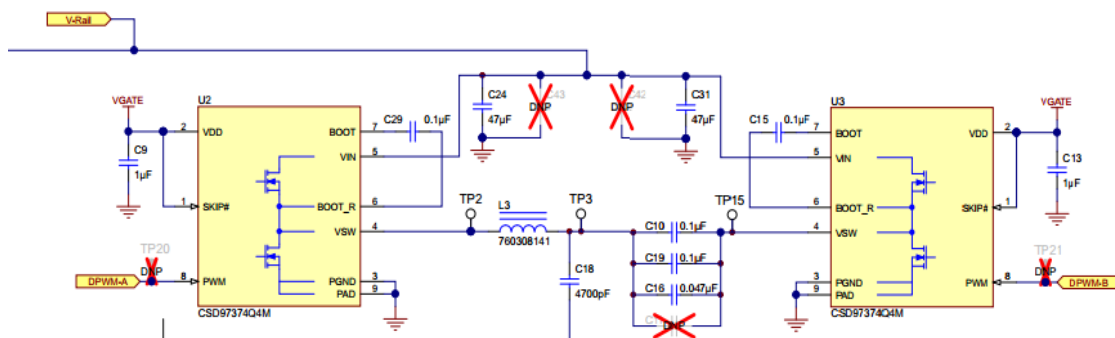


Figura 3.8. Tanque resonante con Puente completo de conmutación

El bq500215 controla estas entradas para generar una señal de 131 kHz que polariza el tanque a la frecuencia de resonancia. En la Fig.3.9. se muestra como las señales D-PWMB Y DPWMA conmutan desfasadas a 180° y la forma de onda TP3 (véase Fig.3.8).

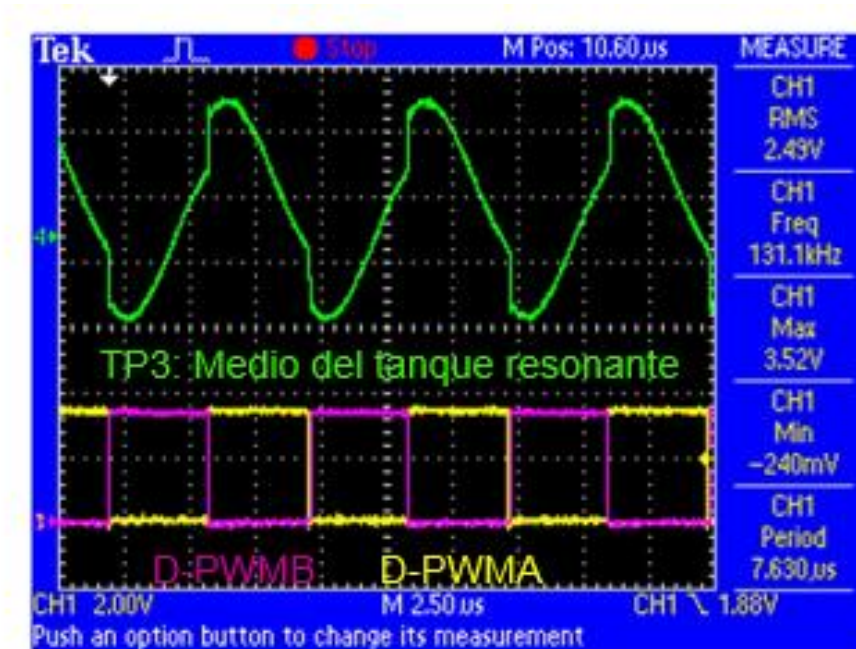


Figura 3.9. Señales D-PWM A, D-PWM B y tensión en medio del tanque resonante.

3.2.6 Circuito demodulador

Mediante el circuito demodulador se obtiene la señal de datos enviada por el receptor para el control del transmisor. Se trata de un demodulador de amplitud (AM) que consta de dos etapas:

- Adaptador de niveles de tensión. Dado que el margen de la señal finalmente entregada al controlador debe ser siempre positiva y no debe exceder 3.3 V, se utiliza un divisor de tensión y se añade un offset.
- Detector de envolvente. Implementado con un diodo Schottky y un carga RC.

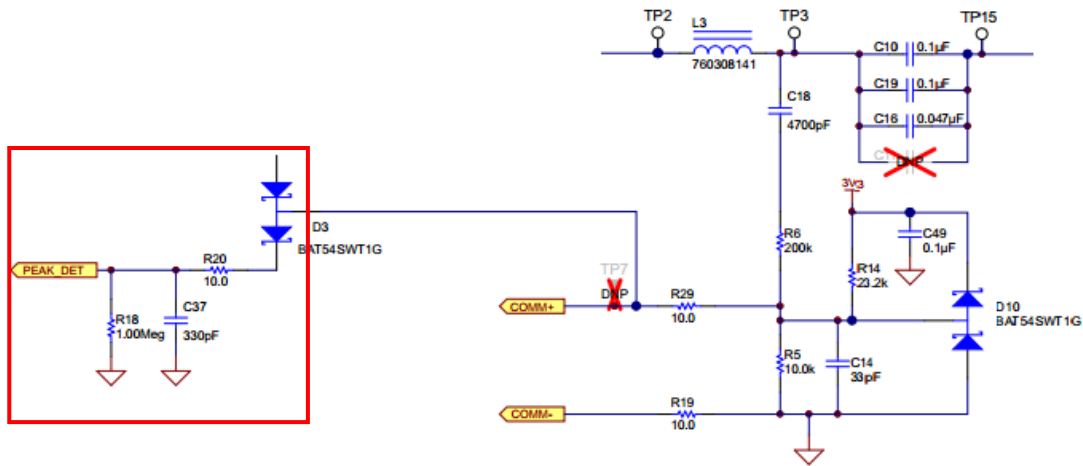


Figura 3.10. Circuito demodulación

En el circuito de la figura 3.10.se observa el divisor de tensión formado por las resistencias R6 y R5. Mediante este divisor se reduce la amplitud un factor 0.048. Por tanto, una amplitud de 12V pasa a ser de 0.57V. Además se le añade un offset mediante el condensador de desacoplo de continua C18 y las resistencias R14 y R5,

$$V_{offset} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 23.2 \text{ k}\Omega} \cdot 3.3 \text{ V} = 0.99 \text{ V}$$

La Fig. 3.11 muestra la forma de onda finalmente obtenida a la salida del adaptador de niveles.

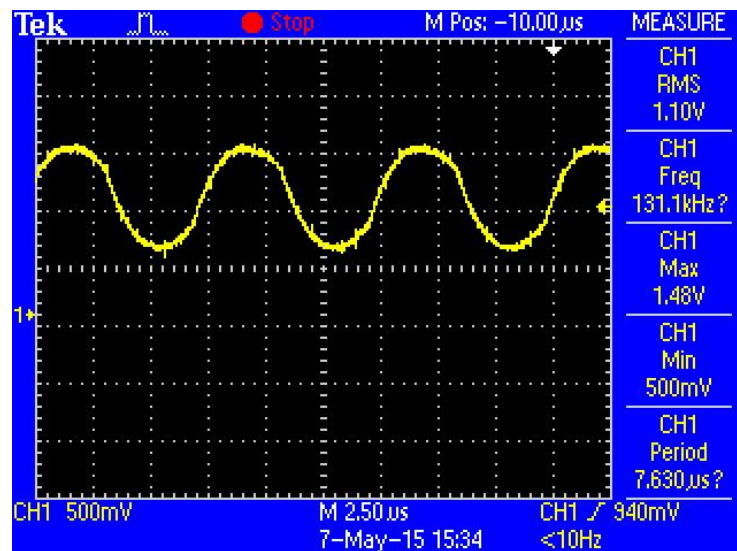


Figura 3.11. Señal COMM+

3.2.7 Alimentación del controlador

El controlador bq500215 se alimenta a 3.3V y utiliza un regulador conmutado CC/CC para bajar la tensión de batería a 3.3V. Este regulador se ha implementado mediante el integrado TPS54231D de TI.

En la Figura 3.12 podemos ver el conexionado del CC/CC.

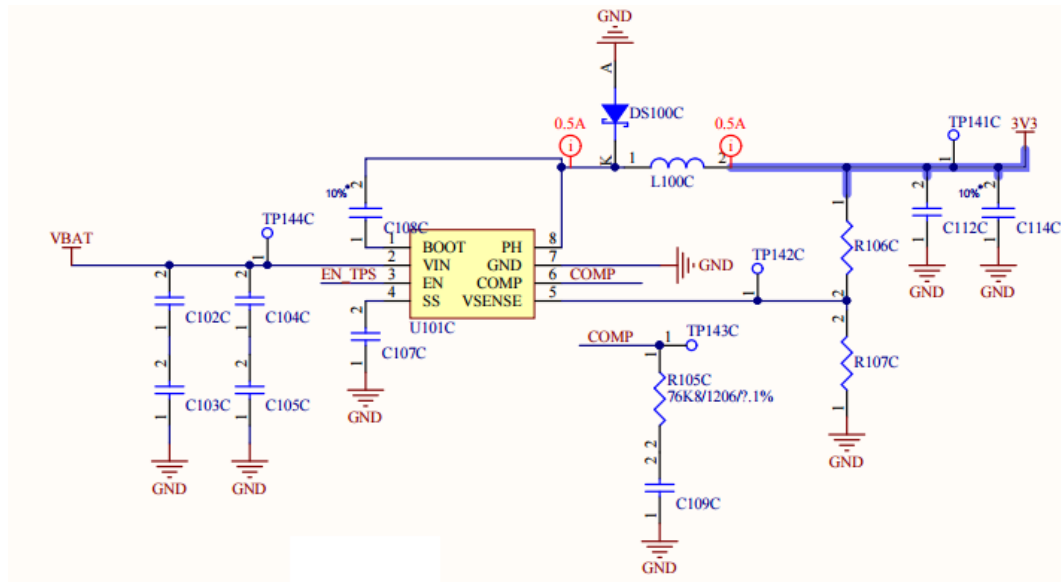


Figura 3.12. Regulador conmutado para alimentar controlador bq500215.

3.2.8 Controlador: Integrado de TEXAS Instruments

El controlador bq500215 es el encargado de realizar las comunicaciones con el receptor, controlar los semi-puentes y regular el campo magnético generado según el consumo de la carga. La regulación puede lograrse mediante el control de cualquiera de los parámetros de acoplamiento de la bobina. Sin embargo, para que sea compatible con WPC, las bobinas del lado transmisor, la capacidad, así como la frecuencia y el ciclo de trabajo del puente son fijos. El campo magnético se regula mediante el control de la tensión de alimentación del puente (VRAIL).

El bq500215 también dispone de un sistema de seguridad para detectar la mayoría de los objetos de metal mediante el análisis de la respuesta de impulso a un short ping (ping FOD) enviado antes de cualquier transferencia de potencia. El bq500215 hace este análisis midiendo el cambio en la frecuencia de resonancia y la decadencia de la respuesta de impulsos y comparándolo con valores umbrales mencionados que se establecen por la resistencia en los Pins FP_RES y FP_DECAY.

En la Figura 3.13 vemos el conexionado del bq500215 en el esquema.

pequeños con el fin de reducir las pérdidas. En cambio, una vez lo conectamos a una carga (en este caso de 200mA), este empieza a demandar potencia y el transmisor a enviársela. La amplitud de la señal recibida, mostrada en la Fig.3.15.b, aumenta hasta el nivel que el receptor ha fijado con el lazo de control.

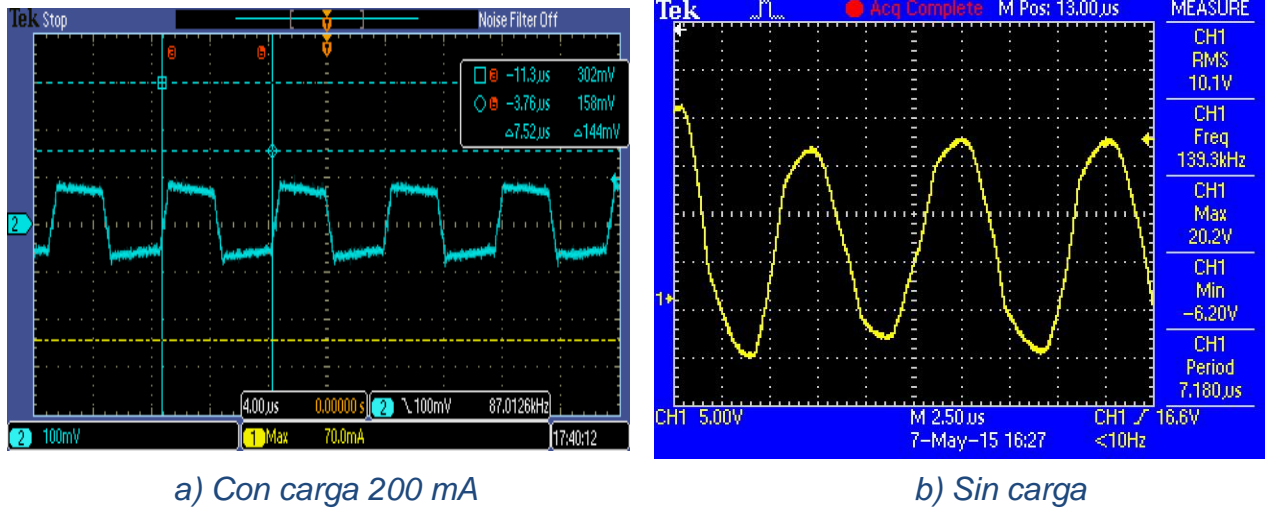


Figura 3.15. tensión tanque resonante de Rx

A continuación se describirá el diseño de cada uno de estos subsistemas.

3.3.1 Tanque resonante de RX

El diseño de la bobina receptora, es la parte más abierta del diseño del sistema. Para la elección de la bobina, tenemos que tener en cuenta la forma del bobinado, el material, etc. Este diseño puede ser complicado y consiste en la optimización de muchos aspectos diferentes. En este caso, hemos utilizado la que nos aconseja Texas IWAS4832FEEB150J50 de Vishay.

Los condensadores resonantes puestos en serie con la bobina, han sido elegidos acorde con la WPC specification. Las ecuaciones para calcular los condensadores son:

$$C_1 = \left[(f_S \times 2\pi)^2 \times L'_S \right]^{-1} \quad (3.1)$$

$$C_2 = \left[(f_D \times 2\pi)^2 \times L_S - \frac{1}{C_1} \right]^{-1} \quad (3.2)$$

Otro aspecto importante a tener en cuenta a la hora de elegir los condensadores es que tengan una ESR lo más baja posible, para disipar lo mínimo posible.

3.3.2 Condensadores de desacoplo de las Comunicaciones

Estos condensadores se ponen ya que, las pistas y cableados tienen una inductancia que hace que cuando se requiera una intensidad importante por parte de la conmutación del bq51025, tenga un retardo en el suministro de esta intensidad y por lo tanto una caída de tensión en la alimentación, los condensadores de desacoplo también sirven como camino de retorno a las corrientes de alta frecuencia.

Los condensadores de desacoplo se deben de poner muy cerca de los pines de alimentación del integrado para mantener la inductancia lo más baja posible en las pistas que van desde el condensador de desacoplo al integrado.

El valor del condensador de desacoplo, C_{com} , debe estar comprendido entre $C1/8$ y $C1/3$. El valor más alto de este rango es el que más recomienda la WPC especificación. Aunque también es el que da menor eficiencia al sistema. Por lo tanto, hay que coger un compromiso entre estos valores. En nuestro caso hemos utilizado 56nF/25V.

3.3.3 Controlador bq51025

El controlador bq51025 es el encargado de rectificar la tensión inducida en el tanque resonante del receptor y modular la señal transmitida al transmisor.

En lugar de utilizar un rectificador con diodos, utiliza un rectificador formado por transistores. Este tipo de rectificador, conocido como rectificador síncrono, evita las pérdidas que tendríamos en los diodos debido a su tensión umbral. Además controla el estado de los transistores con el fin de mantener la salida del rectificador a una tensión más o menos constante durante un transitorio de la carga. Aunque esta tensión se mantendría regulada por el lazo de control externo en régimen estacionario, la respuesta de este lazo de control es lenta (tiempo de convergencia en el entorno de 150 ms) y se hace necesario un control rápido mediante el control del rectificador. El control dinámico de rectificación, permite un cambio 1.5-V en tensión rectificada antes de que se observe la respuesta transitoria en la salida del regulador interno (salida del dispositivo bq51025). A 1 Amperio permite una aplicación de 2 Ω impedancia a la salida. La siguiente imagen muestra el comportamiento dinámico del rectificador de control durante la transferencia de potencia activa

La transmisión de información a transmisor se realiza mediante la modulación de una red de impedancia. La señal de amplitud modulada (AM) se refleja como un cambio en la amplitud de voltaje en la bobina transmisora. La señal es demodulada y decodificada por el lado del transmisor.

La red de impedancia modulada en el receptor puede ser, o bien resistiva, o bien capacitiva. La siguiente imagen muestra el enfoque de modulación

resistiva donde se añade periódicamente una resistencia a la carga, y la amplitud resultante cambia en la tensión del transmisor.

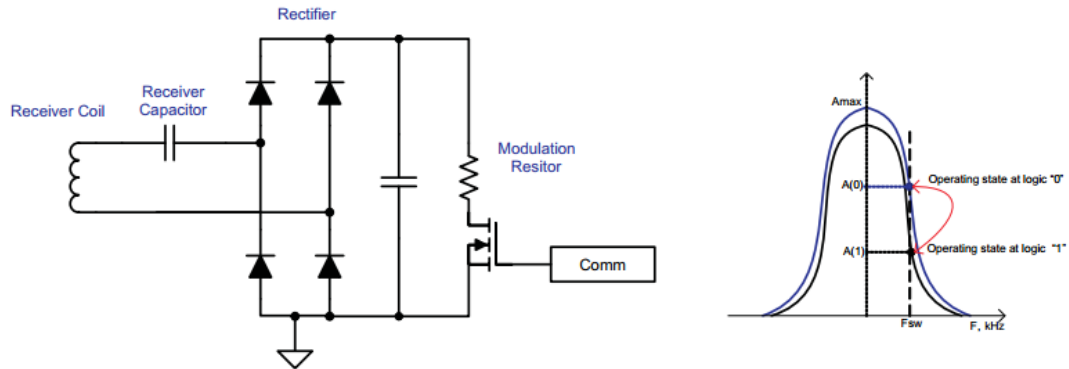


Figura 3.16. Modulación resistiva 1

En la Figura 3.17. se muestra el enfoque de modulación capacitiva, donde un condensador es añadido periódicamente para la carga y como esto hace un cambio de amplitud que resulta en la tensión del transmisor.

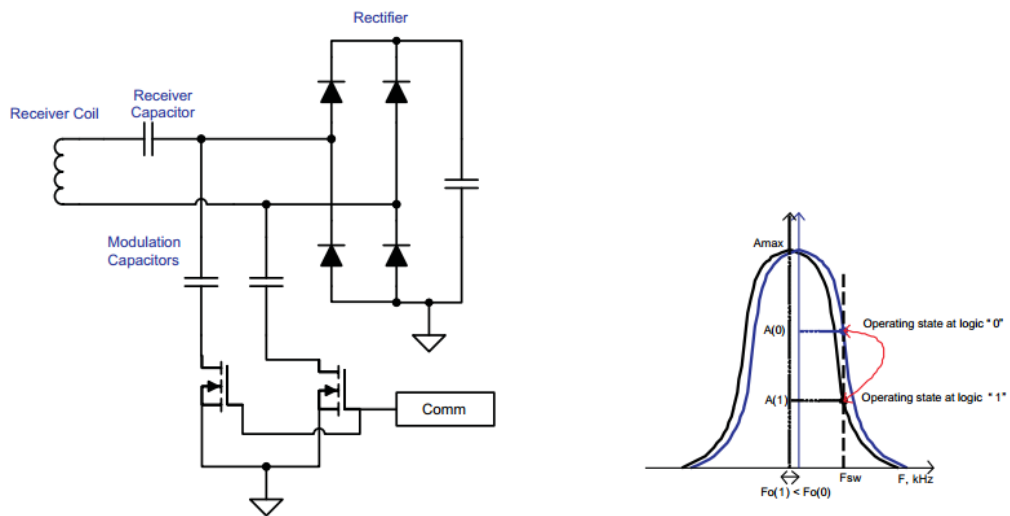


Figura 3.17 Modulación capacitiva.

CAPÍTULO 4. Medidas de eficiencia del sistema.

4.1 Medidas de eficiencias generales del sistema

La eficiencia de un sistema se define como la relación de la potencia de salida y la potencia de entrada. Este parámetro es el más importante para saber si nuestro sistema es factible en un vehículo. Por este motivo en este capítulo hemos realizado un estudio de eficiencia. Para hacer el estudio hemos utilizado una carga electrónica, configurada como carga resistiva, de la que su valor óhmico se ha ido reduciendo con el fin de aumentar la corriente consumida. La Fig.4.1 muestra los instrumentos de laboratorio utilizados para hacer estas pruebas.



Figura 4.1. Setup medida de eficiencia.

Mediante estos instrumentos se ha medido:

- Voltaje a la entrada del transmisor.
- Voltaje a la salida del receptor.
- Corriente a la entrada del transmisor.
- Corriente a la salida del receptor.

y se ha calculado la eficiencia mediante la relación:

$$Eficiencia = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in}} \quad (4.1)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Fig 4.2.. El sistema es más eficiente cuanto mayor es la potencia consumida por la carga. Mientras que a partir de 3.5 W la eficiencia alcanza el 80%, la eficiencia disminuye a 45 % para una potencia de 0.89 W.

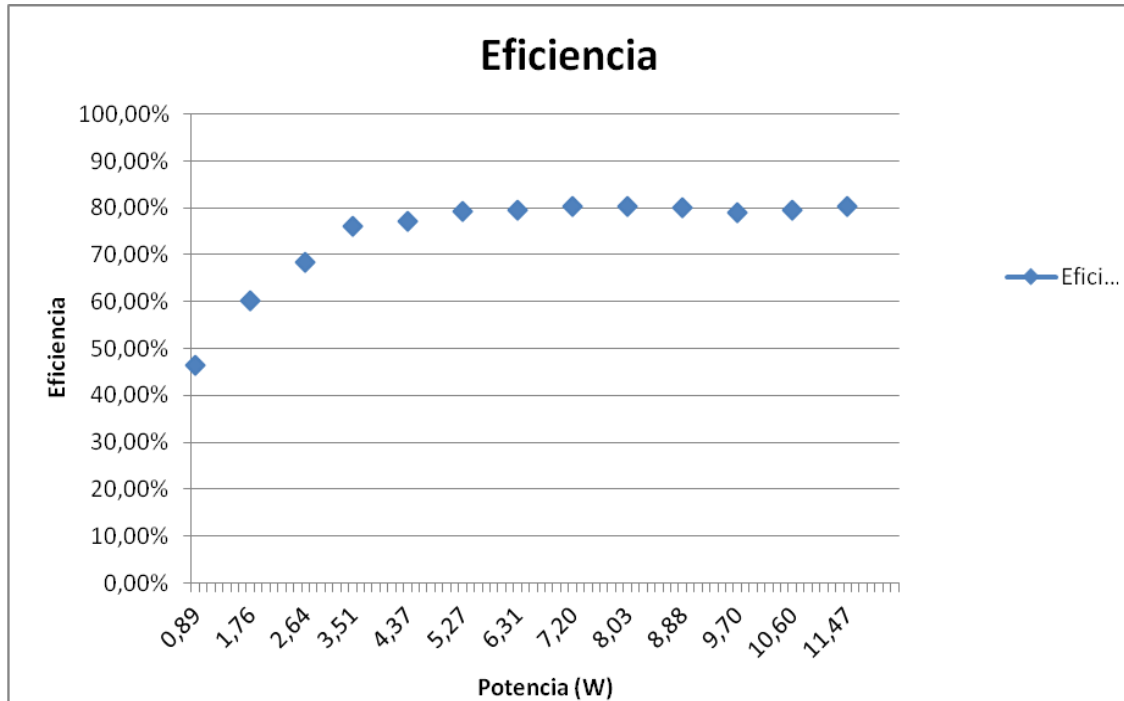


Figura 4.2. Gráfica de eficiencia del sistema en función de la potencia transmitida.

4.2 Medidas de eficiencias en funcionalidades reales

A continuación se muestra la eficiencia de la transferencia de potencia con cargas reales del retrovisor. Se trata de cargas dinámicas cuyos consumos van variando y por tanto se producen transitorios en las variables eléctricas del sistema. Las perturbaciones producidas en las variables eléctricas del sistema se muestran mediante capturas de la pantalla del osciloscopio.

4.2.1 Glass Actuator

En la Siguiete imagen, ponemos en marcha los movimientos del cristal (glass Actuator). Monitorizando las tensiones y corrientes de batería, y la que se entrega a la carga:

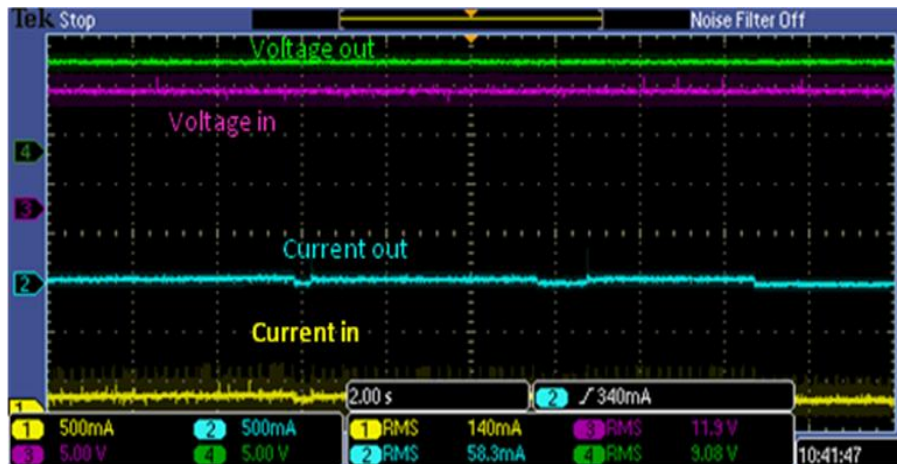


Figura 4.3. Medida para calcular la eficiencia del Glass Actuator

De la anterior gráfica podemos obtener la siguiente medida de eficiencia:

$$Eficiencia = \frac{Corriente_{Salida} \cdot Voltaje_{Salida}}{Corriente_{Entrada} \cdot Voltaje_{Entrada}} = \frac{0.0583 A \cdot 9.08 V}{0.14 A \cdot 11.9 V} = 31.77\%$$

Dado el bajo consumo de este actuador, vemos que la eficiencia del sistema es bastante baja.

En la siguiente imagen, podemos ver el comportamiento del actuador. Vemos como la corriente hace un pequeño pico durante el arranque del motor, que mueve el cristal. Mientras el motor mueve el cristal tiene una corriente de *travel*, que es proporcional a la carga mecánica y finalmente cuando el usuario deja de mover el cristal, la corriente vuelve a ser 0.

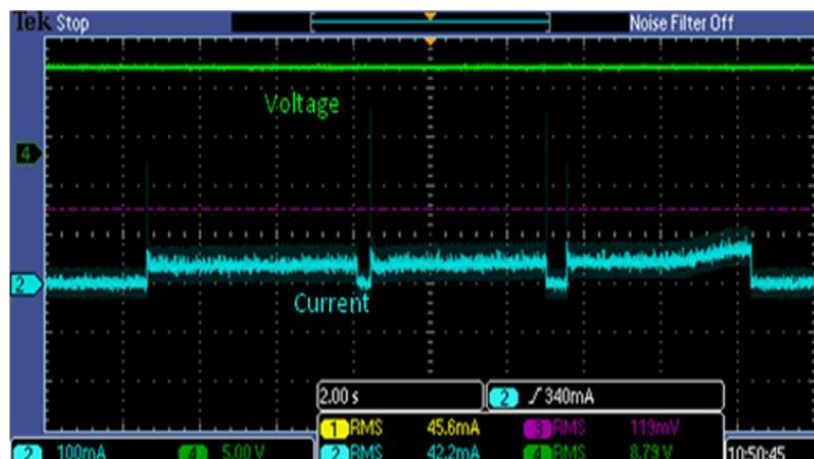


Figura 4.4. Comportamiento Glass Actuator.

4.2.2 Heater

En la siguiente imagen ponemos en marcha el calefactor del cristal (*Heater Actuator*). Monitorizando las tensiones y corrientes de batería, la que se entrega a la carga:

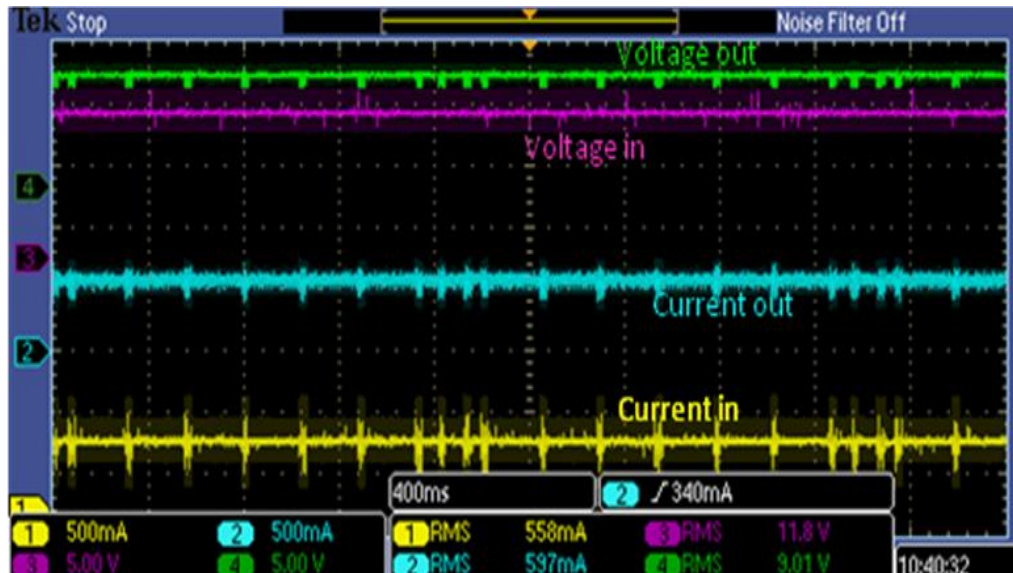


Figura 4.5. Medida calcular eficiencia heater

De la anterior gráfica podemos obtener la siguiente medida de eficiencia:

$$Eficiencia = \frac{Corriente_{Salida} \cdot Voltaje_{Salida}}{Corriente_{Entrada} \cdot Voltaje_{Entrada}} = \frac{0.597 A \cdot 9.01 V}{0.558 A \cdot 11.8 V} = 81.69\%$$

Dado que este actuador ejerce una carga mayor, la eficiencia del sistema aumenta.

En la siguiente imagen, podemos ver el comportamiento del actuador. Dado que es un actuador resistivo, la corriente que circula por él, es constante hasta que el usuario decida apagar el actuador.

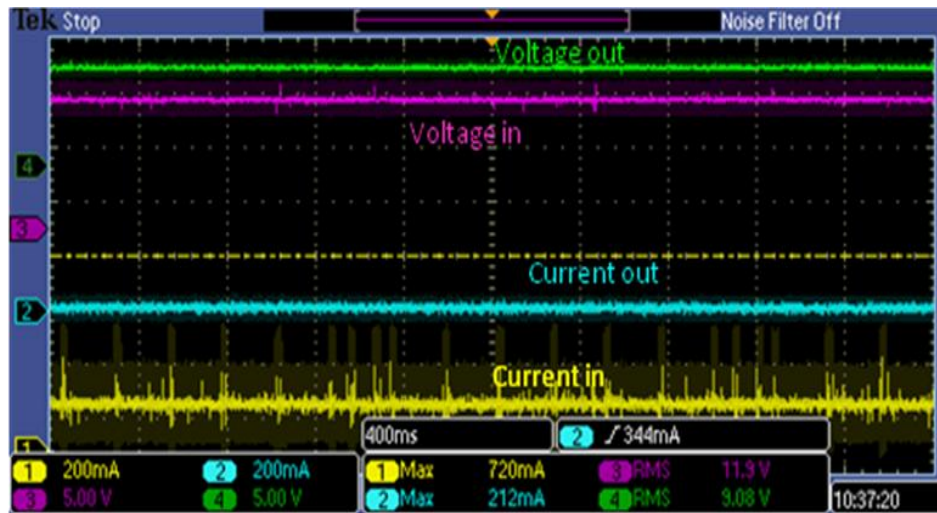


Figura 4.6. Comportamiento Heater

4.2.3 Electrochrome

En la Siguiete imagen ponemos en marcha el electrochrome del cristal (Electrochrome Actuator). Monitorizando las tensiones y corrientes tanto de batería, como de entrega a la carga:

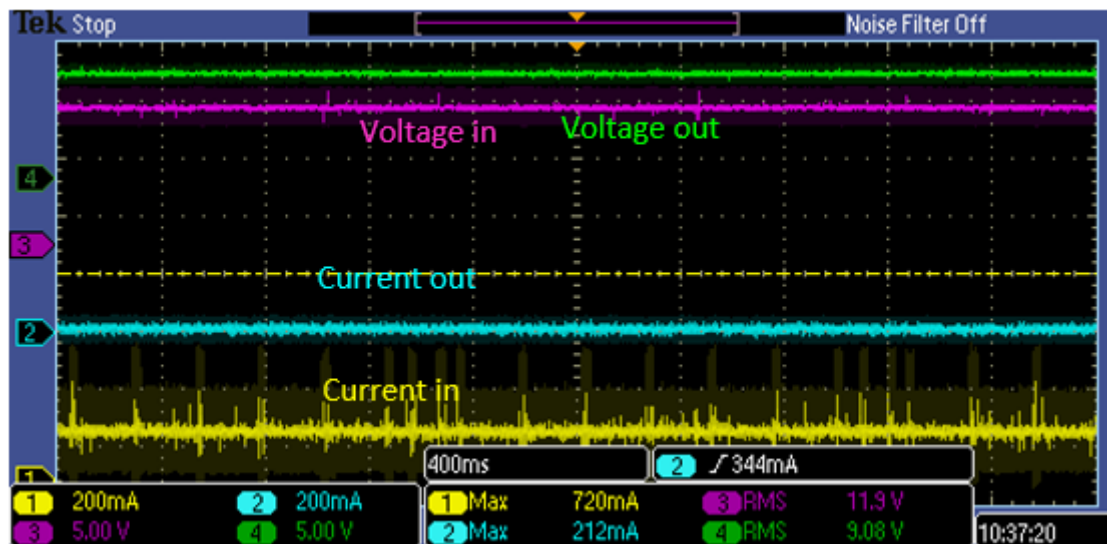


Figura 4.7. Medida para calcular eficiencia de electrochrome

De la anterior gráfica podemos obtener la siguiente medida de eficiencia:

$$Eficiencia = \frac{Corriente_{Salida} \cdot Voltaje_{Salida}}{Corriente_{Entrada} \cdot Voltaje_{Entrada}} = \frac{0.212 A \cdot 9.08 V}{0.263 A \cdot 11.9 V} = 61.5\%$$

4.2.4 Power Folding

El sistema de abatimiento del espejo (Power Folding Actuator) utiliza un motor y por tanto su uso comporta transitorios durante el arranque o parada. La Fig.X muestra estos transitorios. Monitorizando las tensiones y corrientes tanto de batería, como de entrega a la carga:

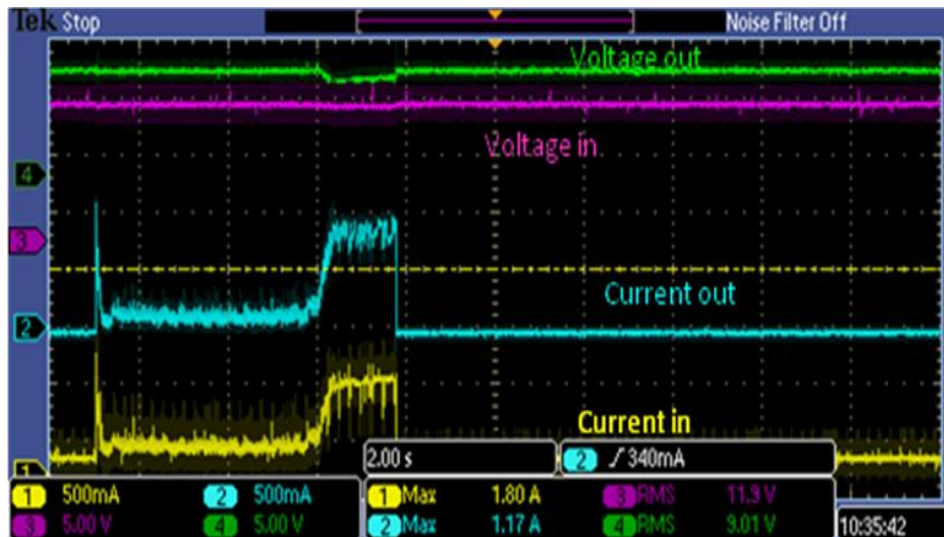


Figura 4.8 Medida para calcular eficiencia Power Folding

Calculamos la eficiencia de este actuador:

$$Eficiencia = \frac{Corriente_{Salida} \cdot Voltaje_{Salida}}{Corriente_{Entrada} \cdot Voltaje_{Entrada}} = \frac{0.501 \text{ A} \cdot 9.01 \text{ V}}{0.490 \cdot 11.9 \text{ V}} = 77.41\%$$

La fig.4.9 muestra con mayor detalle el consumo del corriente cuando el motor está encendido mientras el espejo se abate (corriente de *trave*). Al tratarse de un motor de escobillas, se producen fluctuaciones en la corriente debido al proceso de conexión y desconexión de las bobinas del rotor. Finalmente, se observa un pico al llegar al final de carrera. A pesar de estos transitorios en el consumo, la tensión de alimentación proporcionada por el sistema de alimentación permanece constante. Esto demuestra el buen funcionamiento del sistema de control.



Figura 4.9. Conmportamiento Power Folding

Conclusiones

El proyecto *Wireless Mirror* ha permitido utilizar la tecnología de transferencia de energía inalámbrica en el sector automovilístico. Hemos logrado implantarla en un producto que es clave para la empresa donde se ha realizado, ya que es líder mundial en la fabricación de espejos. Vendiendo más de 15 millones de espejos al año.

Ya que se ha conseguido hacer una transferencia de potencia de 10 W, y es una potencia más que suficiente para alimentar cada uno de los actuadores que tiene el espejo retrovisor, podemos concluir que hemos realizado todos los objetivos que se marcaban en este proyecto.

Estos objetivos eran:

- Reducir tiempo de ensamblaje en la línea de montaje. A consecuencia de no tener que pasar cables, se evita el montaje manual y esto hace reducir el tiempo de ensamblaje de las piezas.
- Reducir cables. No será necesario tener cable desde la electrónica de control del coche hasta el espejo.
- Hacer el espejo estanco. No habrá riesgos en los ensayos de penetración de gases o líquidos, y por lo tanto cumpliremos todos los ensayos.

Por otro lado, vemos que es un sistema de transferencia de energía robusto y que responde con eficacia y rapidez a la demanda de carga. Los valores de eficacia obtenidos son muy buenos, ya que podemos llegar a más del 80% de la potencia transmitida, a una distancia entre bobinas de 5 mm.

Como siguiente paso en el proyecto, sería la presentación de la idea a futuros clientes para que puedan implementar esta tecnología, ya sea en un espejo inalámbrico o en otro producto inalámbrico que puedan necesitar, ya que este sistema se puede adaptar a cualquier carga.

Bibliografía

- [1]- Ficosa Internacional S.L., “*Hardware Development Handbook*”, (1999)
- [2]- Ficosa Internacional S.L., “*CANica user Manual*”, (1999)
- [3]- Neil Kuyvenhoven, C. Dean, J. Melton, J. Schwannecke, A.E. Umenei Fulton Innovation, Access Business Group, Amway Ada, Michigan, “*Development of a Foreign Object Detection and Analysis Method for Wireless Power Systems*”, IEEE, (2011)
- [4]- Daniel Kuerschner and Christian Rathge, “*Contactless energy transmission systems with improved coil positioning flexibility for high power applications*”, 39th Power Electronic Specialists Conference (PESC), (2008)
- [5]- X. Liu, W. M. Ng, C. K. Lee and S. Y. R. Hui, “*Optimal operation of contactless transformers with resonance at secondary circuit*”, in APEC'08, pp. 645-650, (2008)

Bibliografía de consulta

- [6]- Wireless Power Consortium. “Figure of merit for power loss”
<http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/figure-of-merit-for-power-loss.html> (acceso Octubre, 2015).
- [7]- Rezence Alliance for Wireless Power. “Technical specification”
<http://www.rezence.com/technology/technical-specification> (acceso Octubre, 2015).
- [8]-. Texas Instruments “Datasheet bq500215”
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq500215.pdf> (acceso Octubre, 2015).
- [9]-. Texas Instruments “Datasheet bq510255”
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq510255.pdf> (acceso Octubre, 2015).

Anexos

Reglas seguidas para hacer el Layout

Reglas para el Transmisors

La disposición TX tiene un diseño de PCB de 4 capas para la mejor técnica de plano de tierra. El enfoque de la capa de *stack-up* es:

- Capa 1 destinada al montaje de componentes relleno de GND todo el plano sobrante.
- Capa 2 de GND limpia
- Capa 3 de planos de potencia y alguna señal.
- Capa 4 Montaje de algún componente y pistas para conexiones.

De este modo, el circuito está separado por un plano de masa limpio y la potencia va por otro plano. Esto reduce al mínimo las emisiones de ruido EMI y también proporciona un plano de referencia de voltaje de ruido libre para el funcionamiento del dispositivo.

Hemos mantenido tanto el cobre como nos ha sido posible. Hemos dejado abierto el *Exposed Pad* del bq500215 con sus pines de GND, al igual que los pines de potencia, para que así actúen como un disipador de calor.

Hemos cogido una buena referencia de GND para el bq500215 adecuada, dado que hay algunas señales que son muy sensibles, tales como la conversión analógico-digital, la estabilidad del reloj, y el mejor rendimiento general EMI.

Hemos separado el plano de tierra analógica desde el plano de masa de potencia y el uso de un único punto de unión para conectarlos

Tener varios puntos de unión en contra del propósito de separar las masas.

La señal de retorno COMM del tanque resonante debe ser enrutada como un par diferencial. Esto está destinado a reducir inducción de ruido. Las frecuencias de preocupación orden analógico de bajo ruido de señalización técnicas, tales como líneas de enrutamiento y blindaje diferencial, pero la señal COMM no necesitan ser impedancia igualada.

El regulador buck DC-DC usado desde la entrada de 12 V suministra la bq500215 con 3.3-V. Por lo general, el diseñador utiliza una solución de control de un solo chip con FET de potencia integrado y rectificador síncrono o diodo fuera de borda. Hacer en el inductor Buck y bucle de potencia lo más cerca posible para crear un bucle estrecho. Del mismo modo, el tren de potencia, fullbridge componentes deben ser tirados juntos lo más ajustado posible. Ver el EVM bq500215 para un ejemplo de una buena técnica de diseño.

Reglas para el receptor

- Mantener la resistencia de la pista tan baja como sea posible en AC1, AC2, GND y OUT, esto lo hacemos cogiendo la pista lo más ancha posible.
- Detección y condensadores resonantes están lo más cerca posible del dispositivo como sea posible.
- COMM, CLAMP y BOOT condensadores colocados lo más cerca posible del dispositivo como sea posible.
- Condensadores de derivación de alta frecuencia colocados cerca de RECT y OUT.
- Las resistencias de las señales ILIM y FOD y los bucles de esos caminos a GND se han minimizado minimizados.
- Señales y pistas de sensado son las más sensibles al ruido; las amplitudes de las señales de detección son generalmente medido en mV, que es comparable a la amplitud del ruido. Alejarla de señales ruidosas y de potencia. AC1, AC2, boot1, boot2, COM1 y COM2 son la principal fuente de ruido en la PCB. Estas pistas deben ser protegidas de otros componentes en el PCB.
- Para una carga rápida de 1.4 A, la calificación actual de cada red es el siguiente:
 - AC1 = AC2 = 2,2 A
 - OUT = 2,5 A
 - RECT = 200 mA (RMS)
 - COMMx = 600 mA
 - CLAMPx = 1,000 mA
 - Todos los demás pueden estar clasificados para 10 mA o menos.